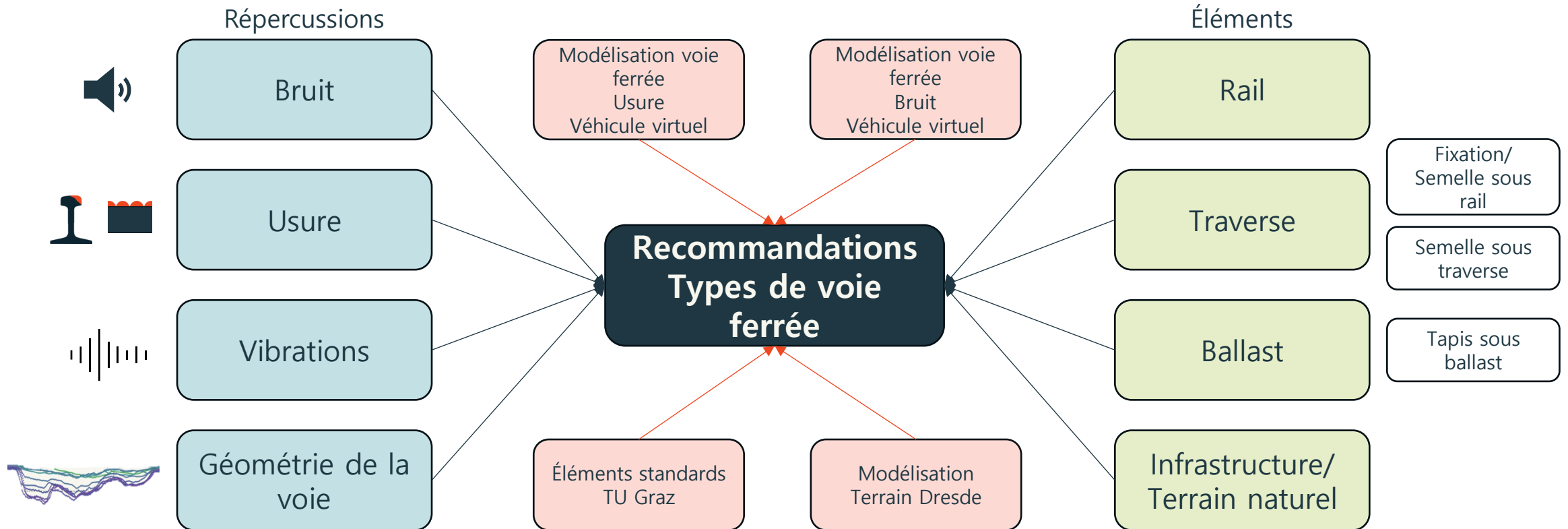


Initiation Éléments de voie ferrée Répercussions

Matthias Landgraf
Peter Güldenapfel

Formation RAILplus P4
03./04. avril
Fribourg, CH





ÉLÉMENTS STANDARDS | TU GRAZ

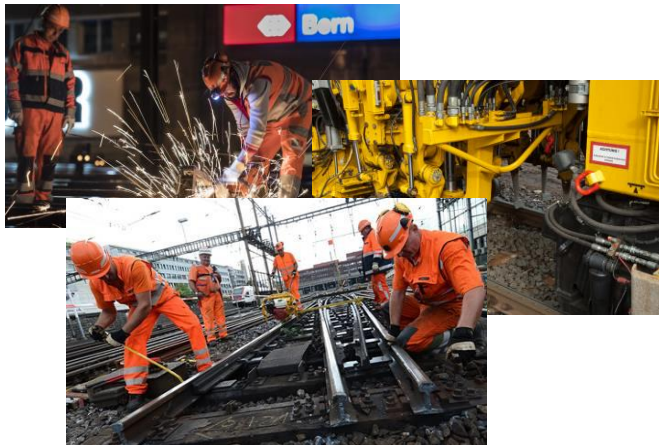
Élaboration et enseignements

Input

Conditions cadre technico-opérationnelles

Quantités de maintenance moyennes (historique)

Durées d'utilisation moyenne (historique)

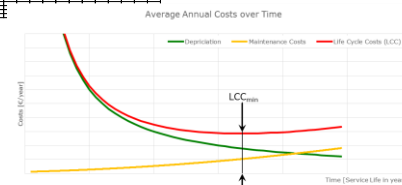
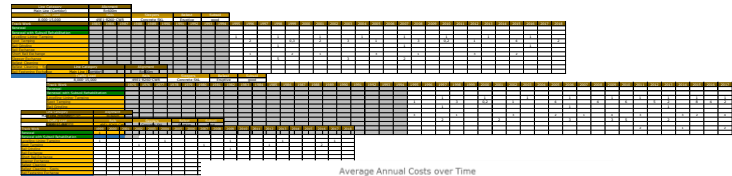


Analyse

Consolidation sur l'ensemble du réseau

Cycles de travail spécifiques par paramètre

Évaluation des coûts du cycle de vie



Output

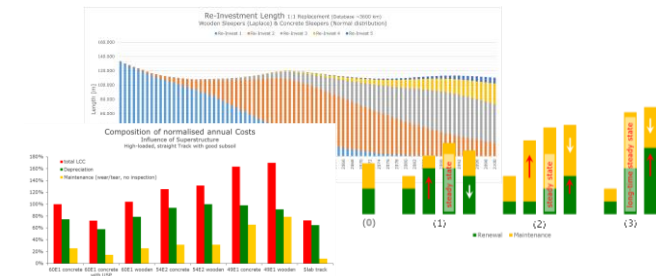
Quantités stratégiques

Maintenance

Renouvellement

Stratégies générales de superstructure

Stratégies de composants



ÉLÉMENTS STANDARDS | TU GRAZ



Élaboration et enseignements

Les données de maintenance on pu être recoupées avec les données des installations chez les chemins de fer suivants.

Les lacunes et incohérences ont été comblées par l'expérience de personnel spécialisé (Responsables de la voie ferrée et gestionnaires d'installations).



Enseignements

- Dans les rayons supérieurs à 300 m, les traverses en béton présentent une durée d'utilisation plus élevée que les traverses en bois.
- Dans les rayons inférieurs à 300 m, les traverses acier présentent une durée d'utilisation plus élevée que les autres types de traverses. (faible historique de données pour les traverses en béton; les traverses en béton avec semelles sous traverse ne font pas partie de ces analyses, comme il n'existe pas de données de longue durée).
- Les rails R350HT réduisent le meulage et le remplacement de rails en courbe d'un facteur 2 en comparaison avec les rails R260. (trop faible historique de données pour une déclaration sur R400HT).
- Chez les chemins de fer à voie métrique, les usures ondulatoires sont actuellement la principale cause pour le meulage des rails.
- La qualité des soudures est très importante pour la durée de vie et les coûts de maintenance des rails. En particulier en alignement, où aucun meulage n'est effectué en raison de l'usure.
- Les stratégies de meulage des chemins de fer à voie métrique sont actuellement très variables. Il s'agit ici d'atteindre une uniformisation.
- Les cycles de travaux des chemins de fer à voie métrique sont plausibles également en comparaison à ceux des catégories de charge correspondantes des chemins de fer à voie normale. (Exception: meulage en raison d'usures ondulatoires accru chez les chemins de fer à voie métrique).



MODÉLISATIONS DE VOIE FERRÉE

Projet K2 FFI véhicule virtuel optimal (vif)

Usure statique et dynamique

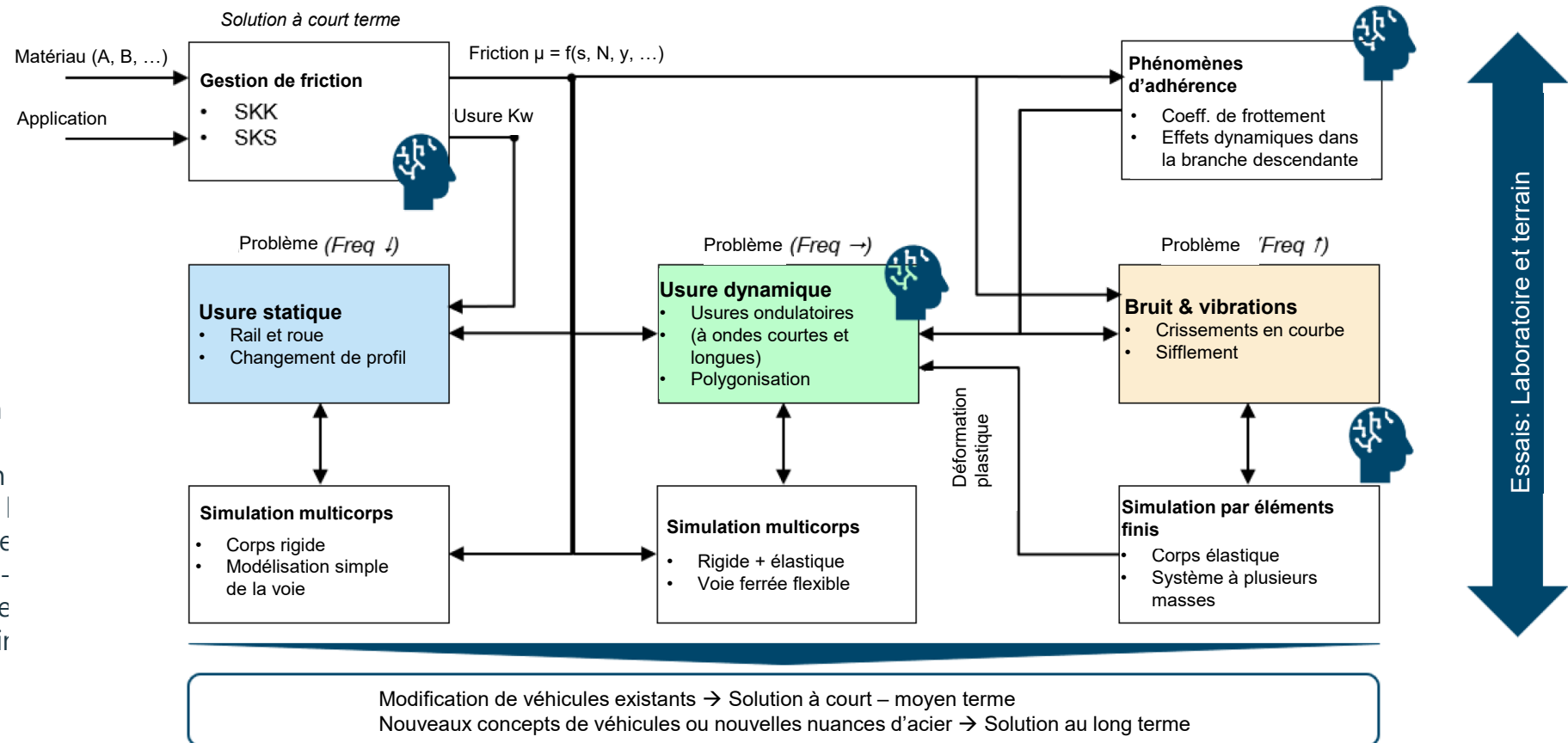
La modélisation se compose des modules de la simulation multi-corps, d'une modélisation de l'usure et d'un générateur de profils. La modélisation de voie ferrée doit représenter aussi précisément que possible le comportement dynamique de la superstructure physique et est donc calibré avec des mesures sur le terrain.

Modélisation de bruit (Crissements)

Les crissements sont déterminés par la diffusion sonore des roues. Ces forces d'excitation sont calculées à l'aide d'un spatial d'état, qui comporte la relation coefficient de frottement / glissement et permet le calcul de la stimulation stick dans une boucle de réaction. A cet effet plusieurs valeurs mesurées sur le terrain nécessaires.

État actuel

Conception de la modélisation et calibrage terminés; début de l'étude paramétrique; Conclusion du projet 10/2025.



MODÉLISATIONS DE VOIE FERRÉE

Modélisation du terrain | BG Dresde

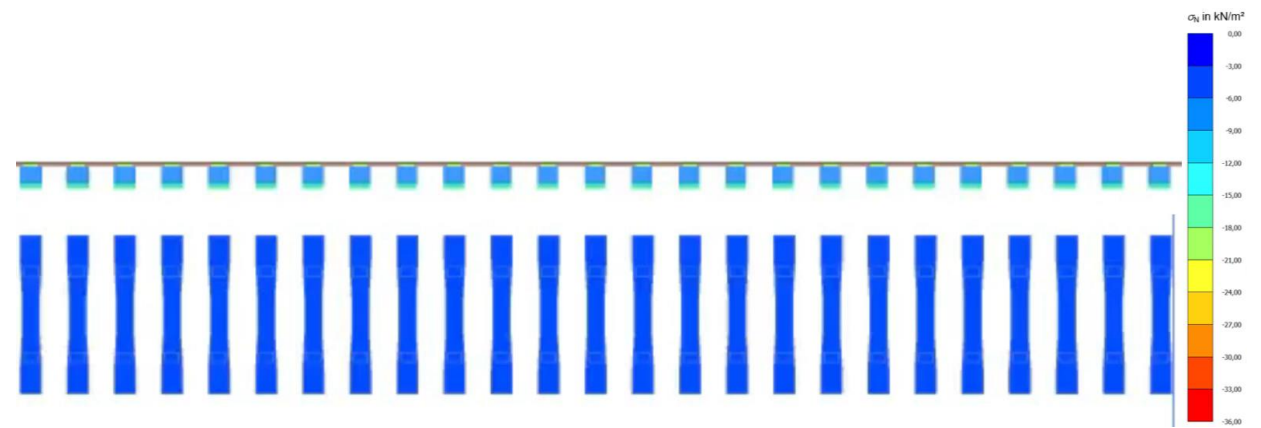
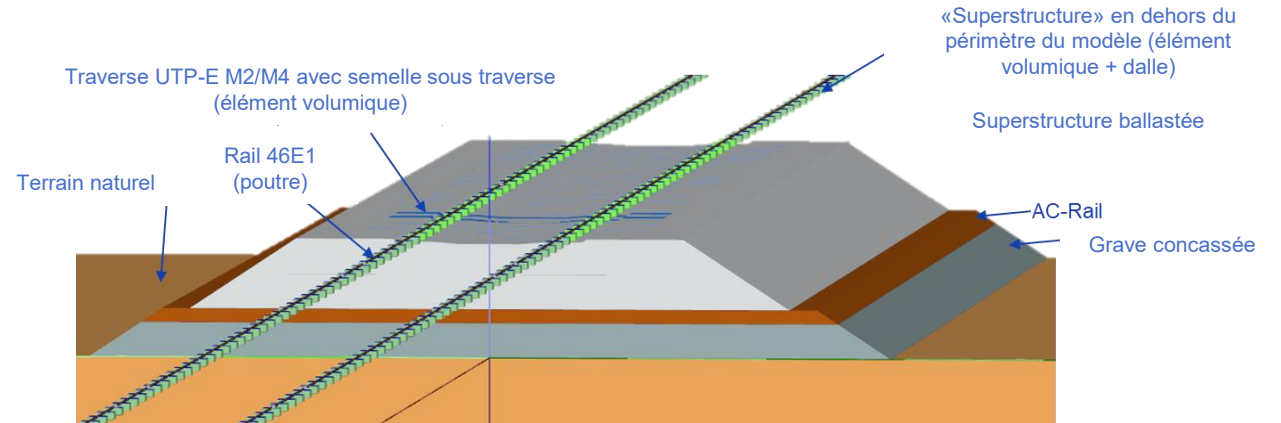
Méthodique

- 1 Réalisation d'analyses tridimensionnelles à éléments finis avec variation des composants correspondants pour des conditions de terrain naturel homogènes.
- 2 Évaluation des répartitions de contrainte (verticales) résultantes du calcul sur la face inférieure des traverses, la face inférieure et supérieure de l'infrastructure et dans le terrain naturel.
- 3 Appréciation de l'influence des grandeurs variables en vue des sollicitation résultantes suite au passage de trains.

État actuel




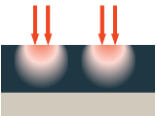
Structure, calibrage et validation du modèle à éléments finis 3D

Clôture du projet 10/2025.



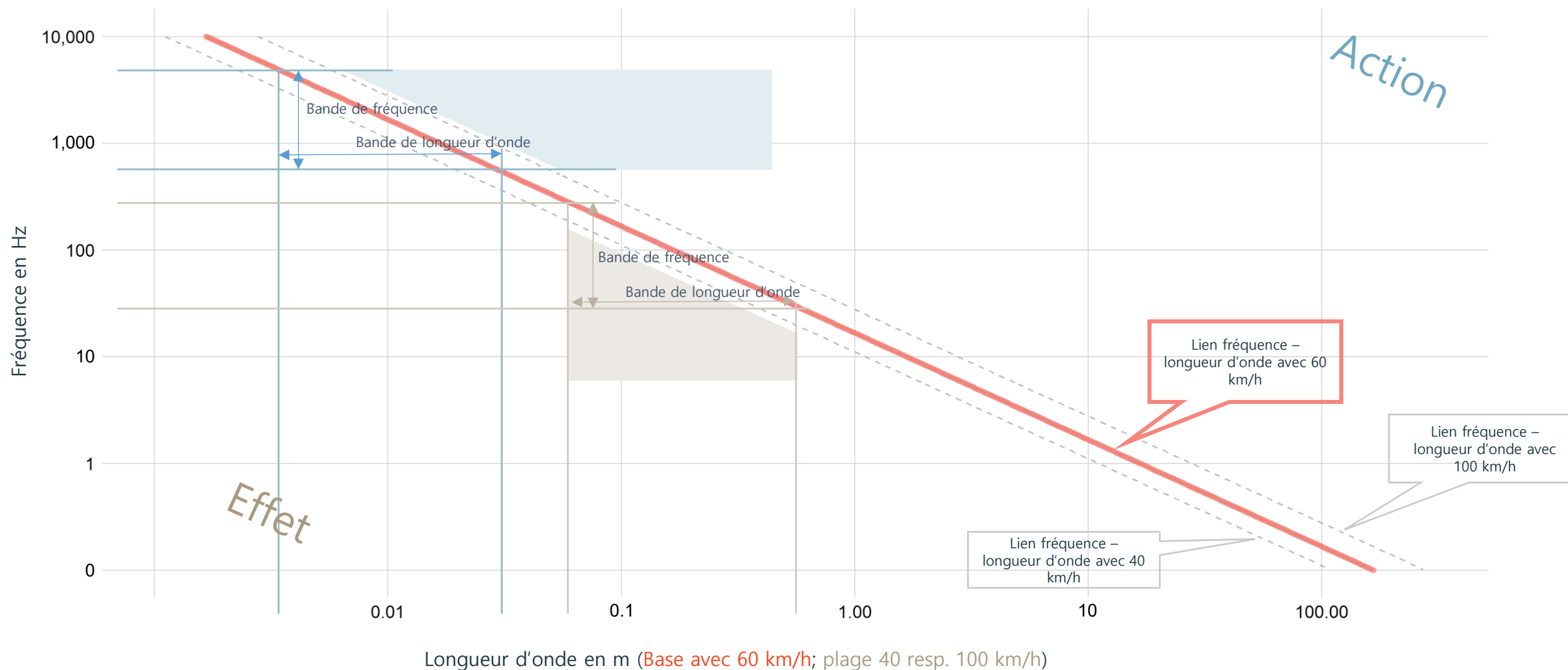
MODÉLISATIONS DE VOIE FERRÉE

Aperçu, objectifs 2025 et questions centrales

	Objectifs	Questions centrales
Statique Paramètres fixes, hypothèses simplifiées sur la charge  <p>Usure du rail quasi-statique</p>	Influence des paramètres suivants sur l'usure: <ul style="list-style-type: none"> - Charge, rayon, - Profil de rail, nuance d'acier, - Écartement/inclinaison 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de la nuance d'acier en fonction du rayon - Influence de la charge par essieu / de l'empattement? - Profil nominal vs. profil d'usure? - Surécartement judicieux?
Dynamique Considération de charges en fonction du temps et de forces interactives  <p>Usure du rail dynamique</p>	Influence des paramètres suivants sur la formation d'usures ondulatoires: <ul style="list-style-type: none"> - Charge, rayon, - Profil de rail, nuance d'acier, semelles sous rail, - Comportement de la traverse béton (avec semelle sous traverse), - Écartement/inclinaison 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de la nuance d'acier en fonction du rayon - Influence de la charge par essieu / de l'empattement? - Profil nominal vs. profil d'usure? - Surécartement judicieux? - Semelle sous rail optimale?
 <p>Modélisation du bruit (Focus crissements en courbe)</p>	Influence des paramètres suivants sur les crissements en courbe: <ul style="list-style-type: none"> - Charge, rayon, nuance d'acier, semelles sous rail, - Comportement des traverses béton et - Écartement/inclinaison 	<ul style="list-style-type: none"> - La voie ferrée peut-elle minimiser les crissements par le choix des composants? - Quels composants doivent être utilisés? - Surécartement judicieux?
 <p>Modélisation du terrain</p>	Influence quantitative de: <ul style="list-style-type: none"> - Charge (charge par essieu, empattement, vitesse), - Éléments élastiques, types de traverses et - Qualité du terrain en termes de déformation par cisaillement et de répartition de contrainte dans le terrain naturel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comportement de géométrie de la voie par type d'infrastructure? - Renouvellement d'infrastructure suffisant lors de terrain naturel profond mauvais? - Réduction des contraintes sur la couche de base par des éléments de superstructure?

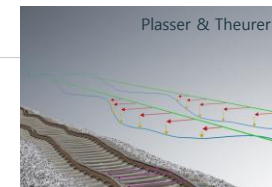
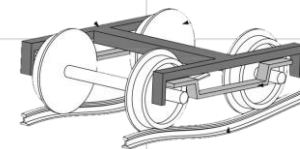
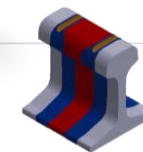
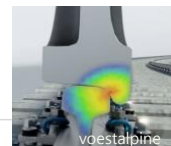
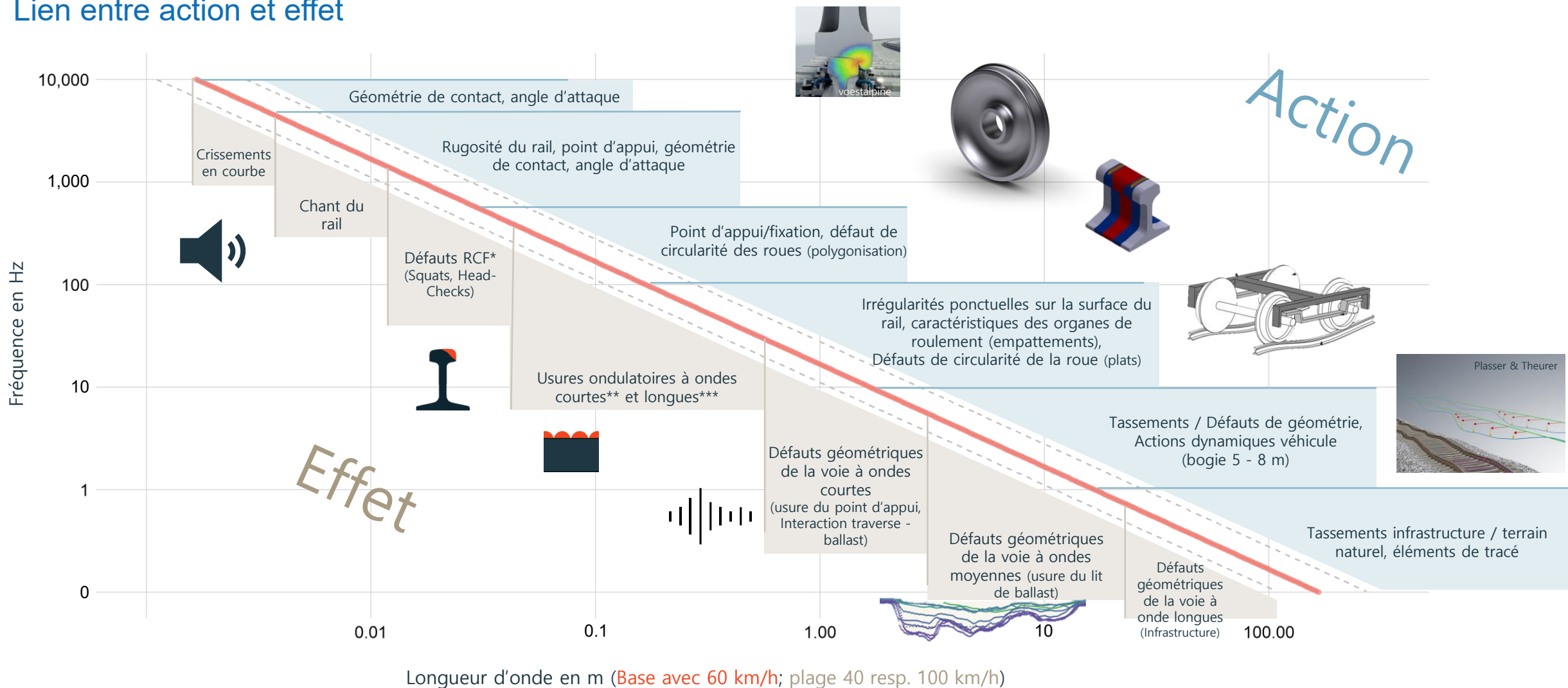
FRÉQUENCES – LONGUEURS D'ONDE.

Lien entre action et effet



FRÉQUENCES – LONGUEURS D'ONDE.

Lien entre action et effet



Plasser & Theurer

* Rolling Contact Fatigue; Défauts de fatigue sur rails et roues par sollicitation répétée du contact de roulement

** Usure ondulatoire sur la surface des rails avec longueur d'onde 2 - 8 cm en alignement et dans les grands rayons, concerne les deux files de rail

*** Usure ondulatoire sur la surface des rails avec longueur d'onde 5 - 30 cm sur le rail intérieur des petits rayons

RAILPLUS | APERÇU P4.

Lien entre action et effet

Haute fréquence



Basse fréquence



BRUIT

USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



RAIL

BRUIT

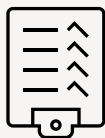
USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Rail



Propriétés

Reprise ponctuelle de charges, si possible dans une géométrie clairement définie.
Réserve d'usure dans la zone du contact du boudin (et réserve verticale).

Grand moment d'inertie (poutre longitudinale).

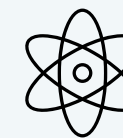
Grande surface d'appui sur le patin pour transmettre les forces longitudinales et former un moment de résistance contre le renversement.



Exécution

Rail standard R260

En cas de charges de trafic, de forces de traction, de vitesses et de charges par essieu accrues, des nuances d'acier plus résistantes et traitées thermiquement sont souvent utilisés. P.ex. R350HT (HAT = head treated) ou R400HT.



Développements

Renvoi

„Défauts et usure sur les surfaces de roulement des rails dues au contact rail - roue“ de Stefan Ziegerhofer et Lukas Prettnner.

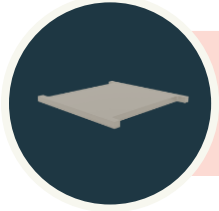
Bloc 3 de cette formation, 03.04.2025 ab 15.15h.

RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



RAIL



POINT D'APPUI (ZW)

BRUIT

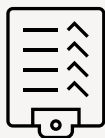
USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Semelle sous rail 



Propriétés

Répartition des charges, réduction de contraintes locales.

Répartition des vibrations pour préserver les traverses et le lit de ballast.

Amortissement pour réduction du taux d'atténuation de la voie.

Isolation électrique.

Résistance des matériaux par rapport à l'usure et aux influences météoriques.

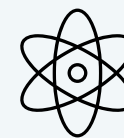


Exécution

Souvent composés de gomme (basée sur des élastomères), de polyéthylène rigide (HPDE), acétate d'éthylène et de vinyle (EVA). En Général épaisseur de 6 – 12 mm.

Entre temps, matériaux recyclés de pneus aussi utilisés.

Paramètre caractéristique: Rigidité verticale en kN/mm. La voie métrique utilise en général des rigidités de 85 kN/mm (souple), 200 kN/mm et 700 kN/mm (rigide).



Développements

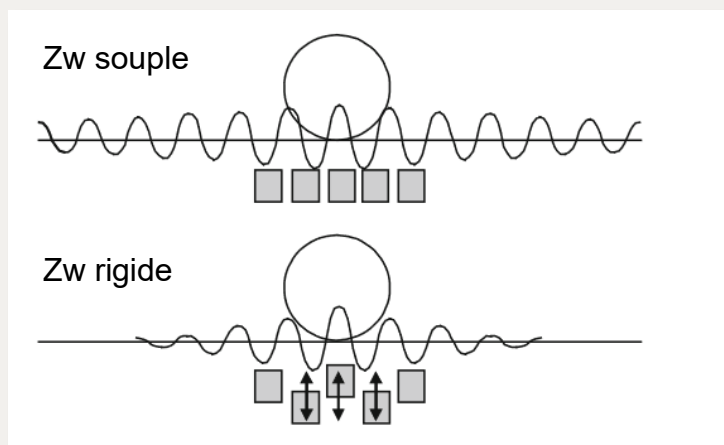
Semelles sous rail à amortissement élevé.

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Semelles sous rail avec amortissement élevé

Statu quo

Avec des semelles sous rail (Zw) souples, les traverses sont bien isolées des vibrations du rail. En contrepartie, les vibrations peuvent se propager relativement librement au long du rail (plus de bruit).



David Thompson, Railway Noise and Vibration, Mechanisms, Modelling and Means of Control

Avec des semelles sous rail rigides, les vibrations du rail sont atténuées par le couplage aux traverses et l'amortissement des semelles sous rail. En contrepartie, les vibrations des traverses sont plus prononcées

Paramètre	Zw rigide	Zw souple
Amélioration (augmentation) du taux d'atténuation de la voie	👍	
Réduction du bruit	👍	
Réduction de l'excitation du ballast et des traverses		👍
Réduction des usures ondulatoires		👍
Répartition des charges améliorée sur plusieurs traverses		👍
Durée de vie prolongée du système de fixation	👍	

Zw avec amortissement élevé
👍
👍
👍
👍
👍
👍
👍
👍

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Semelles sous rail avec amortissement élevé

État du développement

Plusieurs études dans la voie normale avec semelles sous rail de différents fournisseurs (<https://laermforschung-eisenbahn.ch/>).



La fonctionnalité semble en principe assurée.



Question ouverte: Comportement à longue durée, en particulier sur les tronçons qui sollicitent fortement les Zw (p.ex. Petits rayons voie métrique). Pourrait nécessiter des remplacements de Zw plus fréquents afin de maintenir les caractéristiques.



Une solution pourrait être de poser des semelles sous traverse un peu plus souples en combinaison avec des semelles sous rail rigides en courbe. (Pas d'essais sur terrain disponibles à ce jour).



PROSE (P)

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Kompetenzzentrum
FAHR X **BAHN**

Akustisch optimierte Schienenzwischenlag
Schlussbericht

Bericht



Englisch
concern@prose.ch

17.111.00 – BAFU
Entwicklung Zwischenlage

Erstellt	Geprüft	Freigegeben
C. Czolbe	F. May	Y. Kohler

Dokumentnummer	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
04-03-02153	28.08.2020	1.00	30.09.2020	Rele

PROSE AG
Zürcherstrasse 43
8400 Winterthur
Schweiz
www.PROSE.one
Tel +41 52 262 74 00
Fax +41 52 262 74 03
info.winterthur@PROSE.one

04-03-02153 1.00

Forschungsprojekt hochdämpfend
Schlussbericht

Im Auftrag der Schweizerischen Eidgenossen



Quelle: KPZ Fahrbahn

Version	Datum	Ersteller	Bemer
1.0	18.11.2020	Ph. Huber, St. Werner	Erstau
1.1	30.11.2020	Ph. Huber, St. Werner	Schall

Philipp Huber / Stefan Werner
Direkt: +41 79 371 31 15 / +41 79 863 23 09
E-Mail: philipp.huber@kpz-fahrbahn.ch
stefan.werner@kpz-fahrbahn.ch
Homepage: www.kpz-fahrbahn.ch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Empa
Materials Science and Technology

HEIG VO
IOMATEC
Institut de Conception
mécanique et
Technologies des
matériaux

Commissioned by the Swiss Confederation

**Experimental and numerical track system evaluation:
Methodology for finding optimal components**

Final Report

31st October 2023

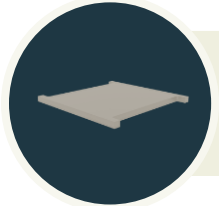
Authors:
Dr. Bart Van Damme, Dr. Prof. Joël Cugnoni, Raphaël Nardin, Vincent Crausaz

RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



RAIL



POINT D'APPUI (ZW)



TRAVERSE

BRUIT

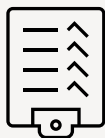
USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Traverse



Propriétés

Répartitions des charges et transfert de charges dans le lit de ballast.

Élasticité pour amortir les chocs et vibrations.

Permet le maintien de l'écartement. Types spécifiques pour les zones avec forces horizontales accrues issues des contraintes propres des rails et de la circulation en courbe.



Exécution

Bois:

Bonne élasticité; nécessitent une imprégnation en raison de la sensibilité au pourrissement.

Béton:

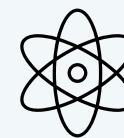
Longévité, haute stabilité; lourd et moins élastique.

Acier:

Haute résistance, sensible à la corrosion

Bois synthétique (FFU):

Longévité, élastique, cher, durabilité? (fibre de carbone)



Développements

Traverses synthétiques

Semelles sous traverse

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Traverses synthétique

(données TU Munich)

État du développement



- „Recyclable à la fin de la durée d'utilisation "
- Longue durée de vie et indéformable
- Certains fournisseurs produisent à base de matériaux secondaires (plastique recyclé).
- Haute résistance aux influences environnementales externes
- Poids faible

Testé, essais de terrain à grande échelle et homologation EBA:



- Traverses synthétiques STRAILway (TU Munich)
- Traverse recyclée Sicut (Homologation OFT demandée)
- Lankhorst
- Vossloh (nouvelle usine depuis 06/2024)

Résistance latérale en courbe ?

- Selon TU Munich, la traverse Sekisui (FFU, bois synthétique) est comparable aux traverses bois avec même hauteur (16 cm).



Comportement par rapport aux traverses béton avec semelles?

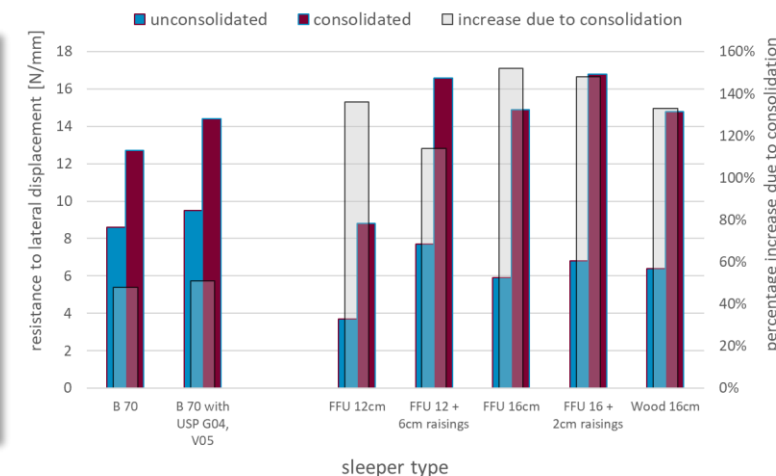
UNTERNEHMEN & MÄRKTE Sicut: Dritter Auftrag von DB InfraGo



Bahnschwellen aus recycelten Kunststoffabfällen; Quelle: Sicut

09. Juli 2024

Sicut hat von der DB InfraGo erneut einen Auftrag zur Lieferung von Schwellen erhalten. Es geht dabei um Verbundstoff-Schwellen, die aus recycelten Kunststoffabfällen hergestellt werden.



Type 1: Sleepers with short or no fiber reinforcements

PAV Berlin Sicut TieTek Integrated Recycling Atlas
Lankhorst Rail Evertrak Reluma Vossloh Darta
IntegriCo Composites Axion Greenrail Permal Wallace

Type 2: Sleepers with long fiber reinforcement longitudinal direction

Sekisui

Type 3: Sleepers with fiber reinforcement longitudinal and transverse direction

Geopolymer concrete filled pultruded composite

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Semelles sous traverse

État du développement



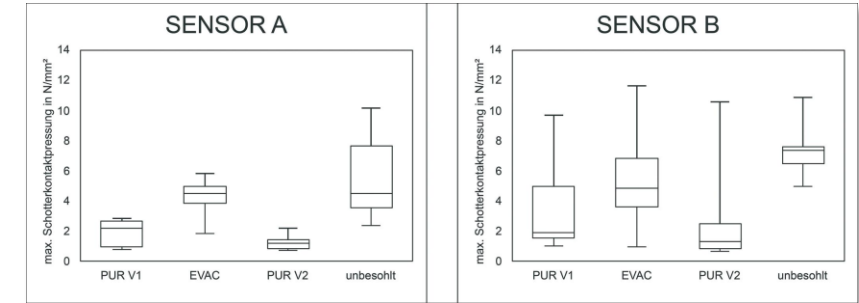
- Depuis 2010, standard en Autriche
- Utilisation significative aussi en Allemagne et en Suisse
- Dans d'autres pays, utilisation pour les lignes fortement chargées et ponctuellement (AV, transitions, tronçons d'essai, etc.).



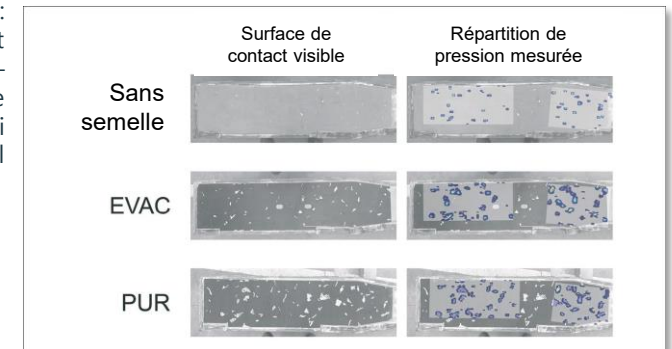
- Plus grande surface de contact réduit la pression maximale à l'interface traverse/ballast.
- Grandes différences pour différents types et fournisseurs de semelles sous traverse.
- Réduction de l'intensité de bourrage aussi pour des charges faibles sur la voie normale de 8'000 – 15'000 tb/j.
- Réduction des usures ondulatoires lors de l'utilisation de semelles sous traverse.



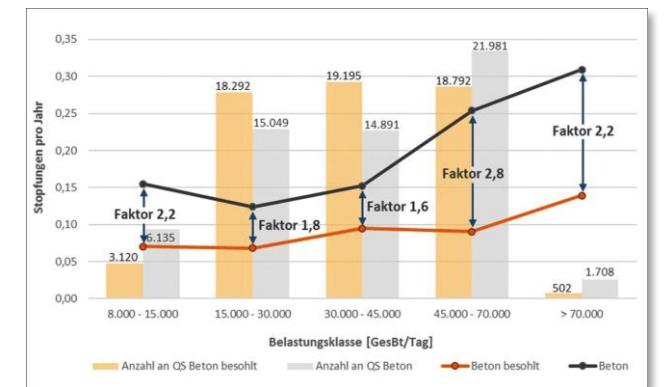
Quel type de semelles sous traverse (élastoplastique, élastique, hautement élastique) est optimal? – En particulier en lien avec les semelles sous rail. Études en relation à l'usure et au comportement vibratoire pertinentes.



ZEV Rail, 12/2023:
Schotterschönung mit Schwellensohlen – unterschiedliche Wirksamkeiten bei gleichem Bettungsmodul



ZEV Rail, 08/2018: Effekte von Schwellenbeschlungen auf das langfristige Qualitätsverhalten des Gleises



ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Traverses – Rigidité latérale

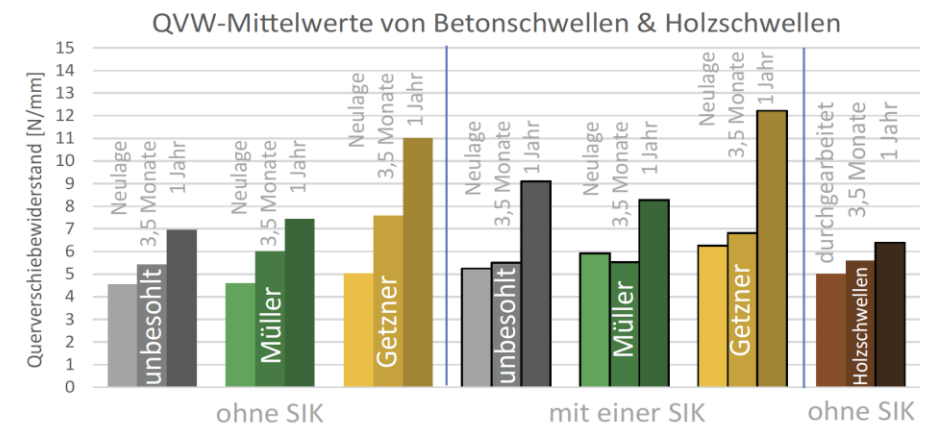
État du développement

Essais en laboratoire sur la résistance latérale de la voie (RL) et la respiration latérale ainsi qu'essais sur le terrain:

- Braess compare en particulier traverse Y, ZSX, HD, béton conventionnelle.
- MGB/KPZ analyse de différents types de semelles sous traverse en courbe
- Université Innsbruck Études Mariazeller Bahn (760 mm) – rayon 89 m
- „une RL plus élevée et une respiration latérale homogène en particulier sont pertinentes pour le comportement au long terme des courbes.“
- „< 120 m rayon: réaliser la superstructure rigide latéralement, sauf si une RL élevée en continu et durable peut être atteinte.“
- „En vue de la RL et de la respiration latérale, les différents types de semelles sous traverse ont un comportement significativement différent – en particulier les semelles sous traverse élasto-plastique (entreprise Getzner) présentent une respiration latérale plus homogène et une RL plus élevée“
- „La RL est plus élevée avec la semelle sous traverse correcte et sans bêtes de sécurité que celle des traverses en béton sans semelles sous traverse.“



Les traverses en béton avec semelle sous traverse peuvent-elles remplacer des mesures additionnelles (bêtes de sécurité, étriers, ...)?



ETR Austria, 09/2022: Universität Innsbruck et Mariazeller Bahn

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Traverses – Aperçu et comparaison

	Durée de vie	Transfert de charge	Rigidité latérale	Respiration latérale	Résistance latérale	Coûts
Béton	👍	—	👎	👎	—	👍
Béton avec SST	👍	👍	🔍?	👍🔍	👍	👍
Acier	👍	—	👎	👎	—	👎
Y acier	👍	—	👍	👍	👍	👎
Bois	👎	👍	👎	👎	👎	—
Bois synth. FFU	👍	👍	👎	👎	👎	👎!
Mat. synth.	🔍?	👍	👎	🔍?		🔍?

— Neutre
 👍 Positif
 👎 Négatif
 ? Inconnu
 🔍 Besoin de recherche actuel

RAILPLUS | APERÇU P4.

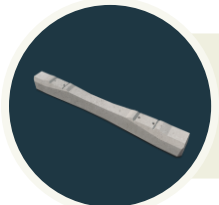
Éléments considérés et effets



RAIL



POINT D'APPUI(ZW)



TRAVERSE



BALLAST

BRUIT

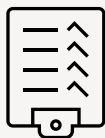
USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Ballast



Propriétés

Assurer la stabilité horizontale et verticale de la voie.

Répartir les contraintes pour atteindre une valeur admissible pour le terrain sous-jacent.

Assurer un bon drainage des eaux météoriques dans la superstructure.

Le ballast est résistant à la compression, à l'abrasion et aux influences environnementales.

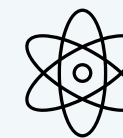


Exécution

Composé de grains à arrêtes vives, qui s'imbriquent bien comme déblai.

Le basalte, diabase, granite, mélaphyre et *Grauwacke* sont des roches typiques pour le ballast.

Le *Kieselkalk suisse* convient très bien à l'application comme ballast ferroviaire et peut être considéré comme „très bon“ dans la comparaison internationale.



Développements

Méthodes automatisées à large échelle pour détecter l'état du ballast.

Les CFF ont besoin de 670'000 tonnes de ballast par année, dont actuellement plus de 80% de ballast primaire (nouveau).

Eisenbahningenieur 07/2024, Hacker & Sauer (SBB), Schotterrecycling

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Ballast



État du développement

„Le recyclage du ballast réduit significativement le bilan de gaz à effet de serre et le besoin en ressources.“

La nouvelle aide à la planification CFF doit augmenter considérablement l'utilisation de ballast recyclé (préparé ailleurs que sur chantier) et criblé (préparé sur le chantier).



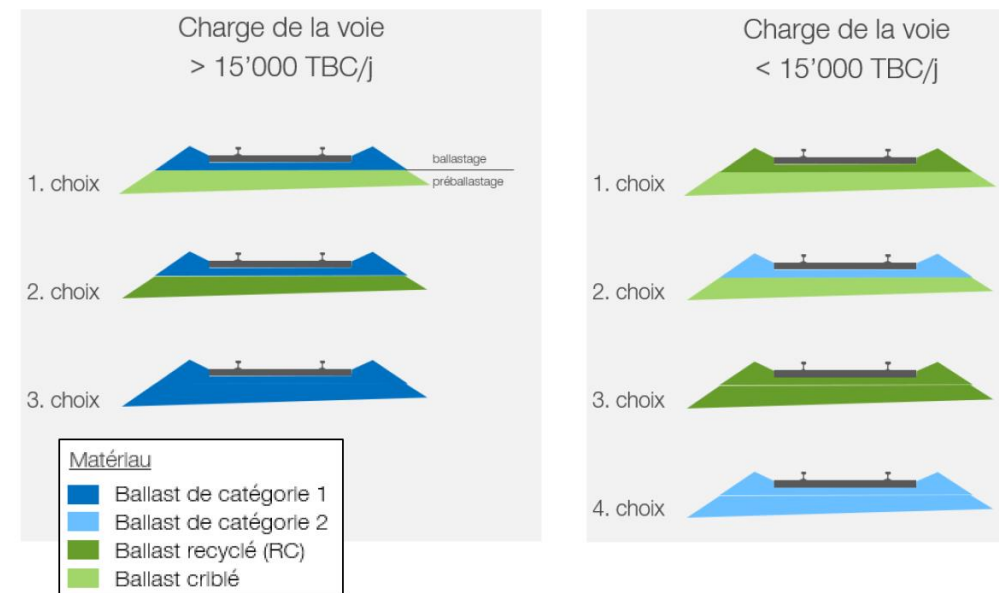
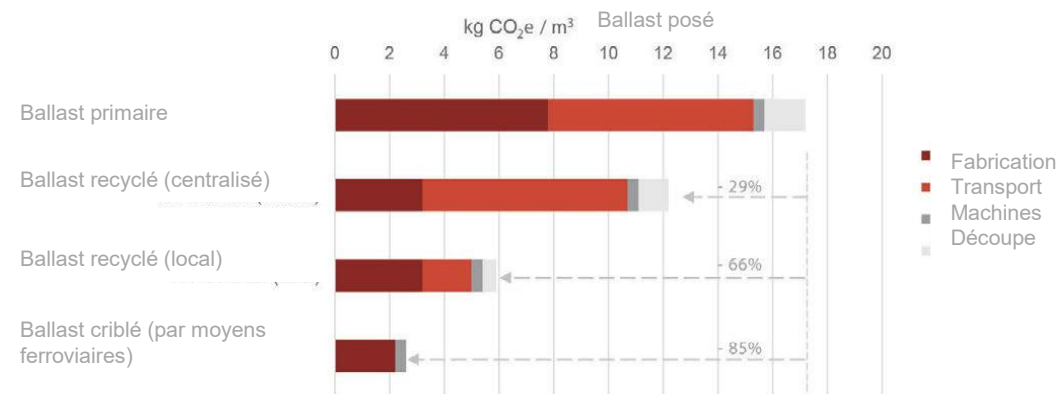
Les CFF souhaitent utiliser du ballast recyclé ou criblé sur tous les tronçons avec moins de 15'000 tb/j.

Sur les voies avec > 15'000 tb/j, le ballast recyclé ou criblé doivent être utilisés comme pré-ballastage.



Recyclage (idéalement directement sur le chantier) aussi possible pour catégorie de ballast 2?

Économie circulaire „ballast“ également possible avec les processus de construction de la voie métrique?



RAILPLUS | APERÇU P4.

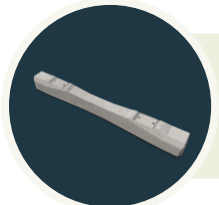
Éléments considérés et effets



RAIL



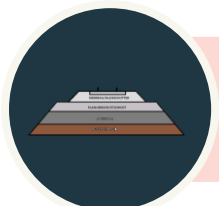
POINT D'APPUI (ZW)



TRAVERSE



BALLAST



INFRASTRUCTURE/ TERRAIN
NATUREL

BRUI

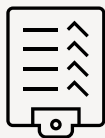
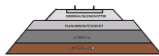
USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Infrastructure



Propriétés

Assurer la portance

Assurer la sécurité contre le gel

Évacuation des eaux

Effet de séparation (éviter le mélange du terrain sous-jacent avec le lit de ballast – «effet de pompage»)



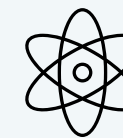
Exécution

PSS:

Une couche (couche de protection de la plateforme = PlanumschutzSchicht PSS), qui assure à la fois la portance et l'évacuation des eaux.

AC Rail:

Composé d'une couche de fondation perméable et portante, sur laquelle une couche d'étanchéité bitumineuse imperméable est posée. La déformabilité minimale est limitée à 150 MN/m² selon DE-OCF, afin d'éviter une trop grande rigidité de l'infrastructure.



Développements

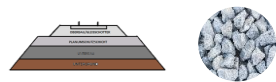
Méthodes automatisées à large échelle pour détecter l'état de l'infrastructure.

CFF testent de l'asphalte à basse température (NTA):

- Libération anticipée.
- Pas d'adaptation de la R RTE 21110 nécessaire.
- Plus longue durée d'utilisation espérée.
- Moins de vapeurs sur le chantier et économie d'énergie lors de la fabrication.
- Coûts légèrement plus élevés, plus longue durée de mélange.

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Infrastructure, Ballast

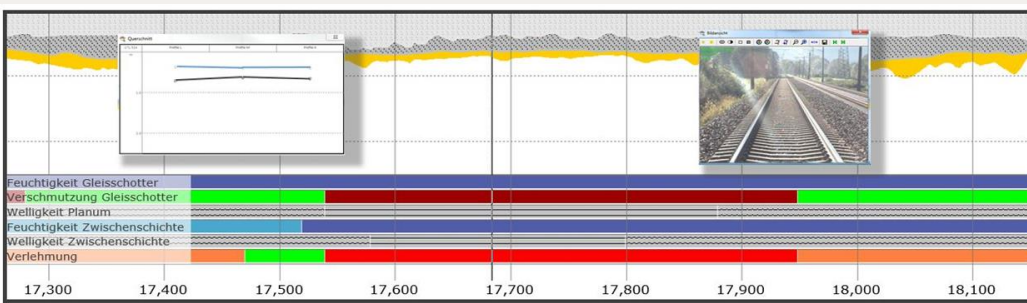


État du développement

Des procédés pour l'évaluation à large échelle de l'état de l'infrastructure et du ballast sont déjà disponibles et utilisés.

Géoradar

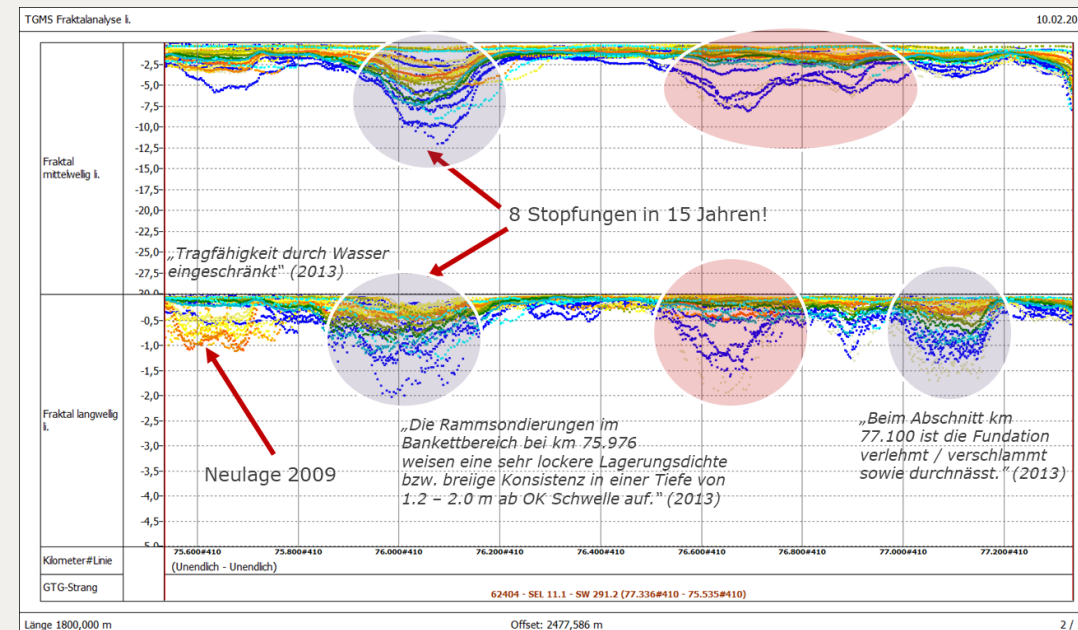
Des ondes électromagnétiques à haute fréquence pénètrent dans le sol et réfléchissent aux interfaces entre différents matériaux, fournissant un aperçu détaillé de la qualité du ballast, de l'infrastructure et de la composition du terrain naturel.



- 👍 Mesures possibles à l'échelle du réseau (système conçu pour 120 km/h)
- 👍 Précision et valeur informative (humidité, pollution, épaisseur de couche)
- 👉 Mesure séparée avec système de mesure additionnel nécessaire
- 👎 Analyse des données de mesure encore très complexe (coûteuse)

Analyse fractale de la géométrie de la voie

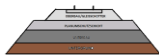
Un algorithme novateur identifie la dominance de plages de longueur d'onde spécifiques dans le signal de géométrie de la voie mesuré par défaut. Les caractéristiques de l'état du ballast et de l'infrastructure peuvent être estimées sur cette base. (Exemple: Application dans SwissTAMP CFF)



- 👍 Appréciation objective possible à l'échelle du réseau
- 👍 Aucune mesure additionnelle de la géométrie de la voie nécessaire
- 👍 Analyse automatisée – Comportement de dégradation peut être représenté
- 👉 Évalue la composition générale de l'infrastructure et du ballast – Indications spécifiques sur l'humidité et le degré de pollution peuvent seulement être déduites indirectement.

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

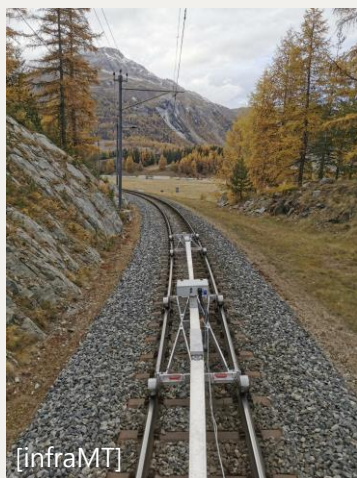
Infrastructure



État du développement

Dans le cadre de la planification de la maintenance, des mesures sur le terrain doivent dans tous les cas être prévues comme complément afin de déterminer, si un renouvellement de l'infrastructure est nécessaire sur le tronçon concerné. De plus, ces enseignements permettent également l'optimisation de la planification spécifique des machines pour le renouvellement.

Mesures d'affaissement



Mesure de l'affaissement relatif entre voie chargée et sans charge. Les domaines d'application sont entre autre la réception de la superstructure, la détection de sauts de rigidité et de problèmes d'infrastructure.

- 👍 Détection de sauts de rigidité ponctuels
- 👍 Indicateur clair, objectif et comparable
- 👉 Source de données séparée - Interface
- 👉 Évalue les caractéristiques générales – Cause spécifique déduite indirectement.

Mesures ME par moyens ferroviaires

Mesure structurée et par moyens ferroviaires de la déformabilité (Valeur ME) du terrain sous-jacent pour l'évaluation de la nécessité d'un renouvellement d'infrastructure.

- 👍 Plus rapide que les sondages, maille plus serrée possible
- 👍 Indicateur clair, objectif et comparable
- 👉 Essai destructif; recommandation fin de durée d'utilisation

Sondages

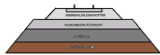
Dans le cadre d'un sondage, les épaisseurs de couches, le type de sol et la teneur en eau peuvent être déterminés. De plus, une appréciation de la possibilité de réutilisation (pollution) du sol peut être effectuée.



- 👍 Haute précision de valeur informative
- 👍 Appréciation globale des expert-e-s
- 👉 Chronophage, donc pas à l'échelle du réseau.
- 👉 Interpolation entre les sondages.
- 👉 Essai destructif; recommandation fin de durée d'utilisation

ÉLÉMENTS DE VOIE FERRÉE.

Infrastructure



Renouvellement de l'infrastructure dans le cadre de projets de maintenance

Selon DE-OCF, dans le cadre de projets de maintenance, une couche d'AC rail devrait être posée – dans la mesure du possible – pour autant que les conditions cadre externes comme p.ex. des raisons d'exploitation (de chantier) et d'accessibilité le permettent.



Selon DE-OCF ad art 25, DE 25, chiff. 4.2.4, Des valeurs limite de déformabilité sur la couche de base sont déjà citées. La déformabilité maximale pour les projets de maintenance y est définie comme suit en fonction des charges de la voie:

PM1, PM2		M_{E1} von 40 MN/m ²
PM3		M_{E1} von 30 MN/m ²
PM4		M_{E1} von 15 MN/m ²

Si ces valeurs sont dépassées, aucun renouvellement d'infrastructure n'est nécessaire. Dans tous les cas, la capacité d'évacuation des eaux de la voie doit toutefois être (ré-)établie!



Dans le cadre de l'optimisation de la rentabilité du système, une évaluation du terrain sous-jacent devrait dans tous les cas être effectuée avant une mesure de renouvellement. Cela permet de déterminer, si un renouvellement d'infrastructure est nécessaire ou si le terrain sous-jacent dispose déjà d'une portance suffisante.



En vue d'une surveillance de l'état de l'infrastructure, il est recommandé d'établir une surveillance continue de l'état sur la base d'appréciations facilement réalisables à l'échelle du réseau (p.ex. analyse fractale de la géométrie verticale de la voie). Sur cette base, les zones problématiques peuvent être reconnues à temps et des analyses complémentaires peuvent être lancées le cas échéant. Dans le cadre de la planification des renouvellements, une appréciation précoce des tronçons qui nécessitent un assainissement peut être réalisée et spécifiée dans les prochaines phases de planification avec des mesures sur le terrain.

RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



RAIL



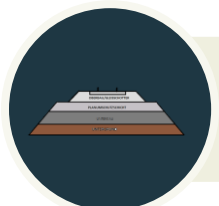
POINT D'APPUI (ZW)



TRAVERSE



BALLAST



INFRASTRUCTURE/ TERRAIN
NATUREL

BRUIT

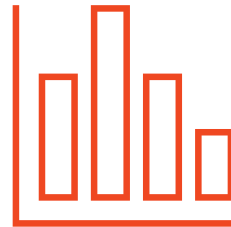
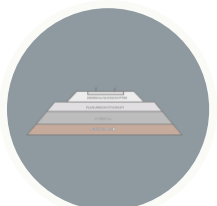
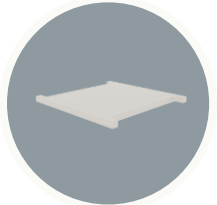
USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



Matrice de significativité

Quel est le degré de corrélation entre les différents composants et les effets étudiés?

En quelle mesure les effets peuvent-ils être influencés par les composants de la voie ferrée?

BRUIT

USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

RAILPLUS | APERÇU P4.

Matrice de significativité | Élaboration et sources



Fiches techniques

Élaboration par responsables respectifs pour différents aspects partiels. Documentation sous forme de fiches techniques.



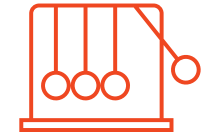
Éléments standards

Dans le cadre du facteur d'usure, des éléments standards ont également été élaborés par la TU Graz. Ceux-ci montrent le lien entre composants utilisés et conditions locales (charge, rayon) avec le comportement technique de la voie ferrée.



Savoir-faire d'experts

Dans le cadre de l'élaboration des „types de voie ferrée“, des discussions d'experts avec les différents détenteurs de savoir ont été menées afin de récolter toute l'expérience et le savoir du P4.



Modélisations de voie ferrée

Les enseignements pertinents sont également tirés des modélisations de voie ferrée. Celles-ci sont élaborées du côté de ViF (bruit, usure des rails) et Baugrund Dresde (comportement de l'infrastructure). Les résultats finaux sont attendus en 2025.

Les élaborations actuelles contiennent l'état des connaissances 02/2025. Notamment les modélisations de voie ferrée sont encore en élaboration resp. les variantes paramétriques ont lieu en 2025. Ensuite, les enseignements peuvent (pourraient) être approfondis.

RAILPLUS | APERÇU P4.

Matrice de significativité | Élaboration et sources



Éléments standards voie métrique

(Besoin de maintenance avec différentes combinaisons de paramètres)

Kurvenradius R >= 500m	RAILplus																														
Schwellen	Schienenprofil	Schienenstahlgüte							Unterbau		Entwässerung																				
Holz	46 E1 / 49 E1	R260							Unbekannt		gut/funktioniert																				
Nutzungsdauer	30,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
alle x Jahre	4,3																														
Anzahl während der ND	9	1	1											1																	
Anzahl während der ND	9,0																														
Anzahl während der ND	10,0																														
Anzahl während der ND	9,0																														
Anzahl während der ND	9,0																														
Anzahl während der ND	3,0																														
Anzahl während der ND	9,0																														
Anzahl während der ND	6																														

Fiches techniques



RAILplus P4 Fahrbahnsteifigkeit

Faktenblatt Fahrbahnmodell Lärm

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	27.04.2023	Siegen M.	Erstellung Faktenblatt
1.0			Schadenrengung und Freigabe durch Techn. Projektleiter und Faktorverantwortlicher

Status Faktenblatt

Nicht begonnen, in Arbeit, abgeschlossen, Freigegeben
APV = Arbeitspaket Verantwortlicher (Datum = Abschluss der Tätigkeit)

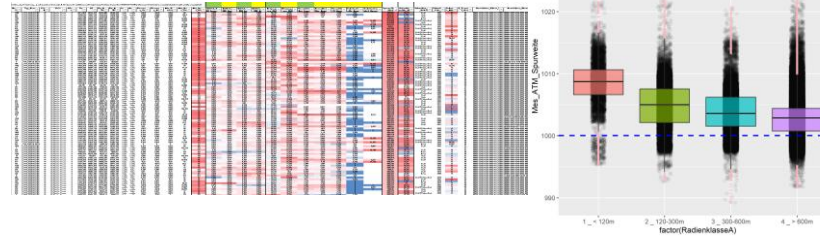
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
in Arbeit	Brotfig APV	Aufbauarbeiten	Lieferprojekte	Bemerkungen																								

Angaben zu Vorlage

Datum / Status:	19.09.2023 / Entwurf
Verfasser:	Abin Geheger, Appenzeler Bahnen
Geprüft:	
Freigegeben:	

- 1 EINGABE DER PARAMETER FÜR DAS STANDARDELEMENT (A5, B5, A7, B7, C7, D7, H7, K7)
- 2 WAHL DER NEULAGENART IN ZELLE A9
- 3 EINGABE DER NUTZUNGSDAUER IN JAHREN IN ZELLE C8 (die Tabelle erscheint dann automatisch)
- 4 EINGABE DER FREQUENZ DER INSTANDHALTUNGSARBEITEN IN DER TABELLE

Évaluation des données de mesure



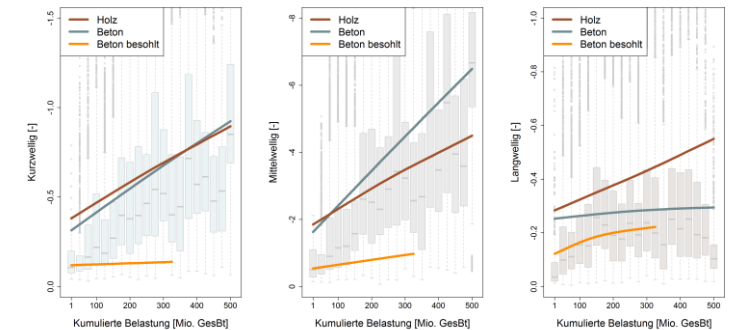
Simulations



Mesures stationnaires






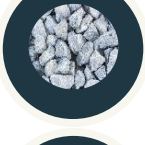
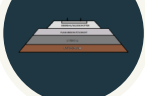
Expérience voie normale



RAILPLUS | APERÇU P4.

Matrice de significativité | Élaboration et sources

Les résultats de la matrice de significativité montrent, que le bruit et l'usure des rails peuvent être influencés en particulier par le choix des rails et des semelles sous rail, les vibrations et la géométrie de la voie par le choix et le dimensionnement des semelles sous rail, des traverses, du ballast et du terrain naturel.

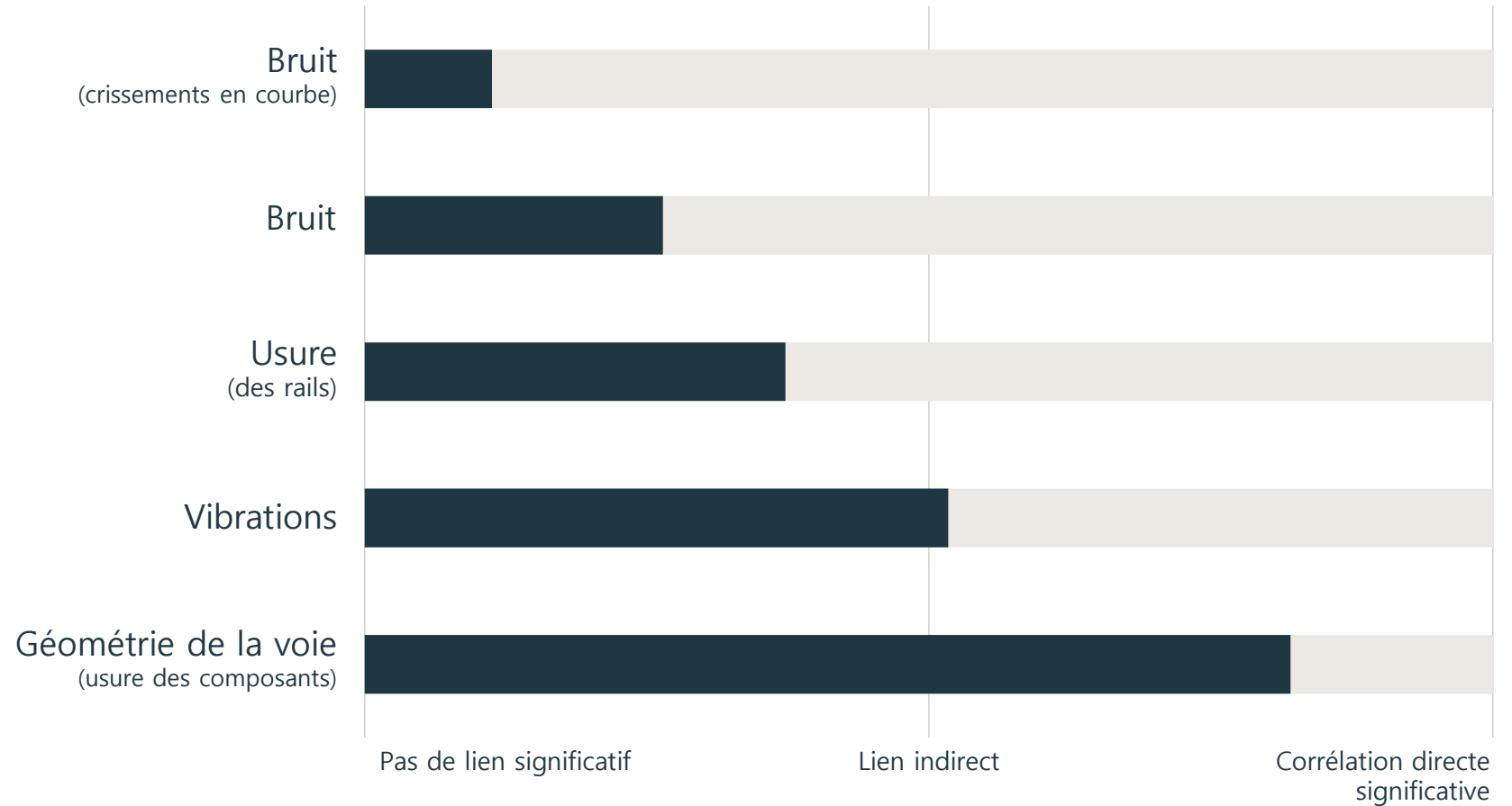
		Bruit (Crissement en courbe)	Bruit	Usure (des rails)	Vibrations	Géométrie de la voie (usure des composants)
2 Influence significative						
1 Influence indirecte resp. lors de conditions cadre spécifiques						
0 Aucune influence significative directe						
	Profil	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
	Nuance d'acier	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0
	Semelles sous rail	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
	Type de traverse	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0
	Semelle sous traverse souple	0,0	0,0	0,5	2,0	2,0
	Semelle sous traverse rigide	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0
	Lit de ballast	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0
	Tapis sous ballast	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0
	Infrastructure / terrain naturel	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0

RAILPLUS | APERÇU P4.

Matrice de significativité | Élaboration et sources

En général, le choix et le dimensionnement des composants de la voie ferrée permet d'influencer significativement la géométrie de la voie (usure des composants) et les vibrations.

De plus, l'usure des rails et le bruit (chant du rail) sont également influencés. Le crissement en courbe ne peut être influencé que de manière marginale par le choix des composants.



RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



RAIL



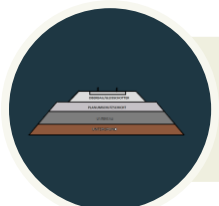
POINT D'APPUI (ZW)



TRAVERSE



BALLAST



INFRASTRUCTURE/ TERRAIN
NATUREL

BRUIT

USURE

VIBRATIONS

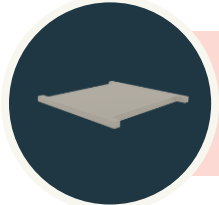
GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

RAILPLUS | APERÇU P4.

Éléments considérés et effets



RAIL



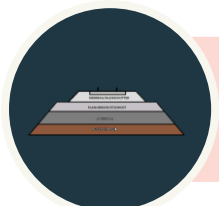
POINT D'APPUI (ZW)



TRAVERSE



BALLAST



INFRASTRUCTURE/ TERRAIN
NATUREL

BRUIT

USURE

VIBRATIONS

GÉOMÉTRIE DE LA VOIE

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Table des matières



- 1. Situation initiale**
- 2. Défaits typiques de la voie ferrée**
- 3. Semelles sous rail**
- 4. Traverses**
- 5. Ballast**
- 6. Évacuation des eaux**
- 7. Infrastructure**
- 8. Résumé et perspectives**

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Situation initiale

Défauts de la voie ferrée

- Pégjorent la géométrie de la voie
- Causent de la maintenance
- Réduisent la durée de vie
- Peuvent causer le remplacement précoce de composants

Important!

- ✓ Reconnaître les défauts et leurs causes
- ✓ Connaître les possibilités pour l'élimination des défauts
- ✓ Optimisation LCC par les bonnes mesures au bon moment



DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Défauts typiques de la voie ferrée

Délimitation

- Défauts sur les rails -> traités dans le bloc 3
- Focus sur les composants suivants de la voie ferrée
 - Semelles sous rail
 - Traverses
 - Ballast
 - Évacuation des eaux
 - Infrastructure

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Fixation des rails

Semelles sous rail



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Semelles sous rail défectueuse ou déplacée Changement de l'inclinaison du rail	Surcharge dans les petits rayons	Remplacement

Recommandations:

- Utiliser des fixations des rails adaptées aux sollicitations dans les petits rayons
- Remplacer à temps les semelles sous rail afin d'éviter des dommages sur les traverses

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Traverses

Traverses en béton



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Fissures	Usure, pas de précontrainte (1 ^{ère} génération)	Eventuellement poser une barre d'écartement, (remplacement de traverse), renouvellement

Recommandation:

- Poser des traverses en béton précontraint avec cheville à armature circulaire (assuré dans la traverse UTP actuelle)

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Traverses

Traverses en bois



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Tirefonds desserrés, selles à nervures enfoncées dans le bois, pourriture, changement de l'écartement et de l'inclinaison des rails	Vieillesse Mauvaise imprégnation	Remplacement de traverse Résinification des trous de tirefonds Correction de l'écartement Renouvellement

Recommandations:

- Renoncer à la pose de traverses en bois

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Traverses

Traverses en acier



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Fissures	Usure fatigue	Remplacement de traverse,
Corrosion	Humidité Sel de dégivrage	Renouvellement

Recommandations :

- En cas d'humidité élevée et de présence de sel de dégivrage, poser des semelles alternatives p.ex. en béton

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Ballast

Profil de ballastage



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Profil de ballastage insuffisant Écoulement de ballast	Trop peu de ballast Vibrations dans le châssis de la voie lors de mauvais terrain naturel	Réduction de vitesse Interdiction de voie (lors d'un déjettement) Compléter le profil de ballastage Compactage

Recommandation:

- Assurer le profil de ballastage nécessaire
- En cas de mauvais terrain naturel, viser un renouvellement de l'infrastructure dans le cadre d'un renouvellement de voie
- Augmenter la rigidité latérale en cas de risque répété de déjettement

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Ballast

«Taches blanches»



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Taches blanches	Discontinuités sur la surface du rail mènent souvent à des déplacements entre traverse et ballast (traverses danseuses) et donc à une déconsolidation et à l'usure du ballast	Éliminer la cause Bourrage

➡ Cf. présentation M. Loidolt

DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Évacuation des eaux



Défauts possibles	Causes possibles	Mesures de réparation
Zones humides Eau stagnante Prolifération de la végétation	Évacuation insuffisante des eaux Évacuation des eaux bouchée ou mal entretenue	Purger les conduites Assainir l'évacuation des eaux

Recommandations:

- Assainir ou construire une évacuation des eaux fonctionnelle



DÉFAUTS DE LA VOIE FERRÉE

Résumé et perspectives

- ✓ Seul un extrait des défauts typiques de la voie ferrée a été montrée
- ✓ Combattre les causes avec une bonne qualité de pose p.ex. Meilleures connaissances de l'état du terrain naturel (études géotechniques)
- ✓ Les défauts devraient être détectés et éliminés à temps
- ✓ Catalogue de défauts RAILplus doit proposer une aide importante à cet effet

LO 2025 P4.2 Fahrbahn - Schädigungskatalog Technischer Bericht RAILplus Seite 10 / 43

2.1.1 Gleisverwerfung und Gleisverdrückung (Fehlercode F-101)

Merkmal	Eine Gleisverwerfung oder Gleisverdrückung ist eine unerwartete Positionsänderung eines Gleises, die ohne Vorwarnung auftritt.	
Bildliche Darstellung		
Verortung	Bereiche mit hohem Risiko sind lückenlose Abschnitte mit kleinen Radien, starken Längsneigungen oder Neigungsunterschieden (Wannen) sowie Abschnitte mit unterschiedlichen Schienentemperaturen und Abschnitte mit Festpunkten.	
Unterscheidung	Gleisverwerfungen und Gleisverdrückungen lassen sich auch mittels Gleislageparametern beschreiben. Die Gleislageparameter Richtung, Überhöhung, Verwindung und Längshöhe sind gesamthaft zu betrachten (siehe Abschnitt 2.1.2).	
Mögliche Ursache	<ul style="list-style-type: none"> - schlechter Untergrund - schlechter Oberbau - schlechte Neutralisation - hohe Schienentemperaturen 	
Empfehlung	Gleisverwerfung Querverschiebungen > 50 mm	Sofortige Gleissperrung (Empfehlung R RTE 22541)
R RTE 22541 [2]	Gleisverdrückung Querverschiebungen ≤ 50 mm	Geschwindigkeitsreduktion (Empfehlung R RTE 22541)

Initiation Éléments de voie ferrée Répercussions

Matthias Landgraf
Peter Güldenapfel

Formation RAILplus P4
03./04. avril
Fribourg, CH

