



Interaction véhicule – voie ferrée métrique

P5 – Véhicules: état d'avancement du projet



et analyses spécifiques aux chemins de fer

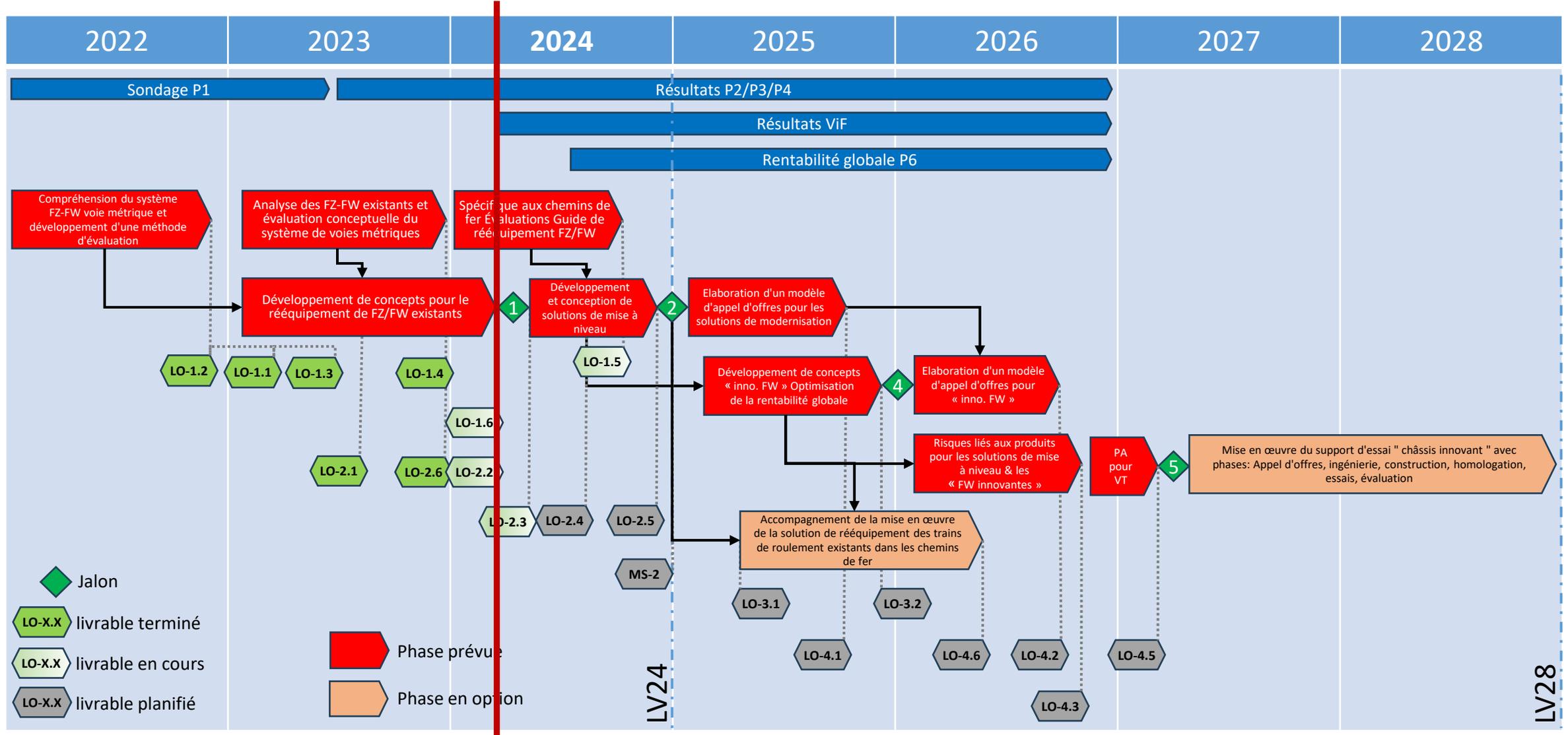
Journée d'interaction à Givisiez, 11 avril 2024

Richard Schneider, RSE

Alessandro Bianchi, RhB

Projet P5 – Véhicules

Feuille de route et livrables



Agenda



et analyses spécifiques aux chemins de fer



1. Introduction
2. Modèle de simulation
3. Évaluation conceptuelle 
4. Étude de faisabilité - mesures d'amélioration
5. Analyses spécifiques aux chemins de fer
6. Évaluation de la rentabilité globale
7. Conclusions
8. Suite du projet

Introduction

 et analyses spécifiques aux chemins de fer

❑ Objectifs

- ❑ Analyse et évaluation de l'usure des roues et rails des systèmes ferroviaires métriques
- ❑ Propositions d'optimisation des véhicules et voie ferrée en tenant compte des exigences client et des sous-systèmes critiques
- ❑ Développement d'une méthode d'analyse et d'optimisation de l'interaction véhicule/voie ferrée

→  = optimisation de l'interaction véhicule/voie de circulation métrique
(Fahrzeug-Fahrweg Interaktion Meterspur Optimierung)

❑ Résultats génériques documentés dans un rapport

- ❑ RAILPlusSF-00021: FIMO LO-1.4 Évaluation conceptuelle

❑ Prochaine étape: analyses et propositions d'amélioration spécifiques aux chemins de fer

→ **BSA** = analyse spécifique aux chemins de fer
(Bahn Spezifische Analyse)

Modèle de simulation

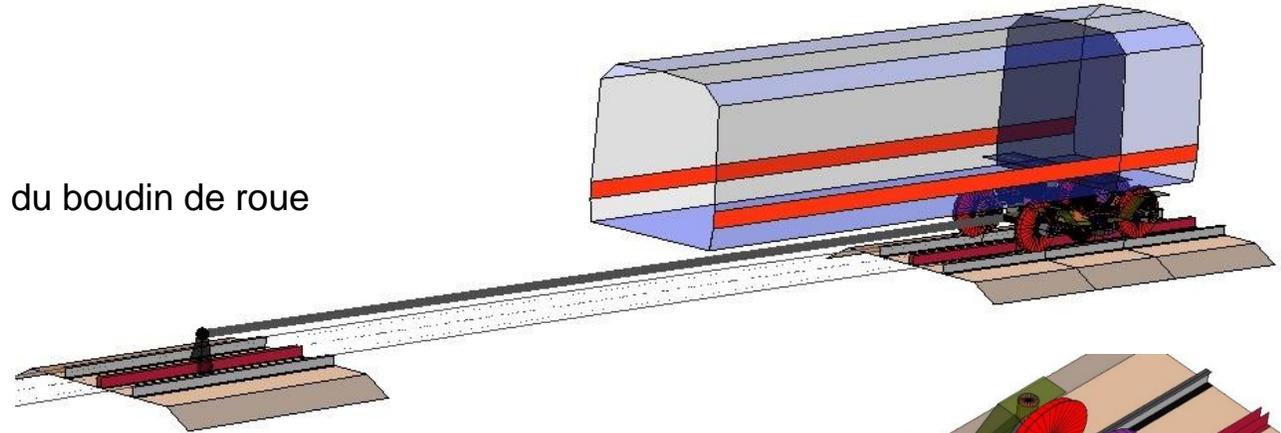


et analyses spécifiques aux chemins de fer (BSA)



❑ Modèle de calcul du comportement d'usure

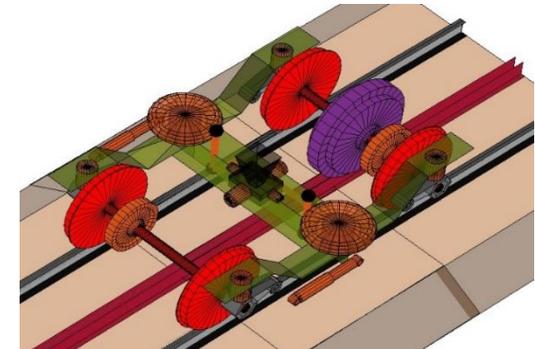
- ❑ Modèle 3-D complet
- ❑ Bogie physiquement réel, y compris bras d'essieu
- ❑ Modélisation simplifiée de la suspension
- ❑ Contact roue/rail en 2 points avec déplacement au niveau du boudin de roue
- ❑ Toutes les mesures d'amélioration prises en compte
- ❑ Entraînement par couple de torsion simple autorisé
- ❑ Combinaisons libres de profils de roue/rail



❑ Le modèle a été vérifié par PJM au moyen de calculs comparatifs avec Simpack.

❑ La qualité du modèle peut être résumée comme suit:

- ❑ Le modèle correspond à l'état de la technique.
- ❑ Le point de contact roue/rail est très détaillé et peut être considéré équivalent à l'« Equivalent Elastic Contact » de Simpack



Le modèle fournit des résultats fiables, tant sur le plan qualitatif que quantitatif!



Évaluation conceptuelle

Périmètre d'analyse

- Véhicules
- Solutions possibles
- Sensibilité
- Domaines d'application

Voir le rapport (en allemand): RAILPlusSF-00021: FIMO LO-1.4 Évaluation conceptuelle

Rapport: https://2785812.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2785812/P5-RAILPlusSF-00021_FIMO_Konzeptionelle%20Bewertung-LO-1-4_V1.0.pdf

Modèle d'expertise: https://2785812.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2785812/P5-TB_R8_755_RSE_Begutachtung_MKS_Modell_SI_1a_2023-11-02_PI_cs.pdf

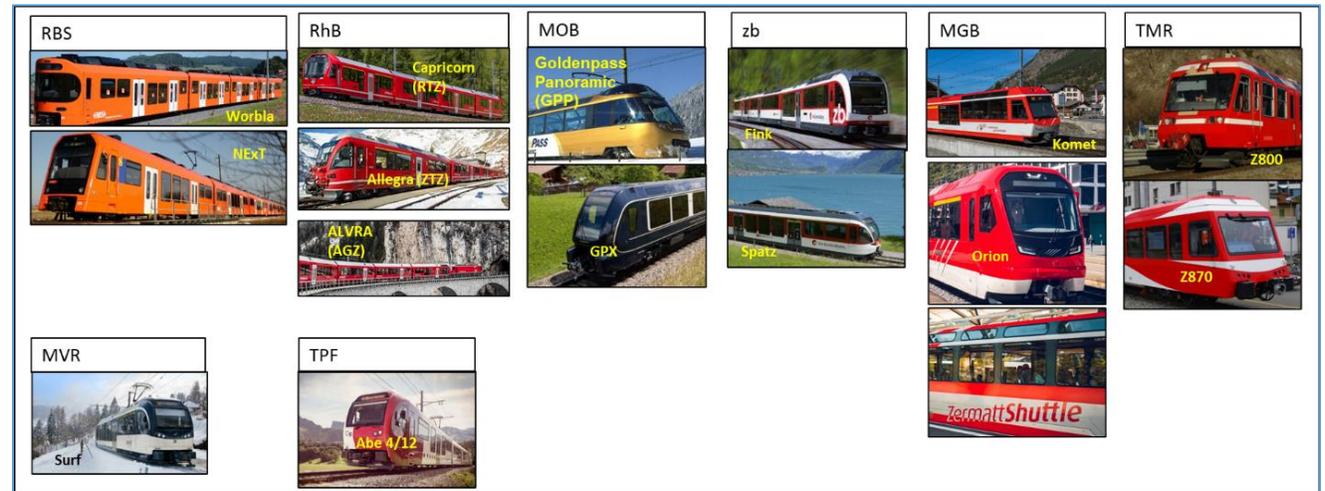
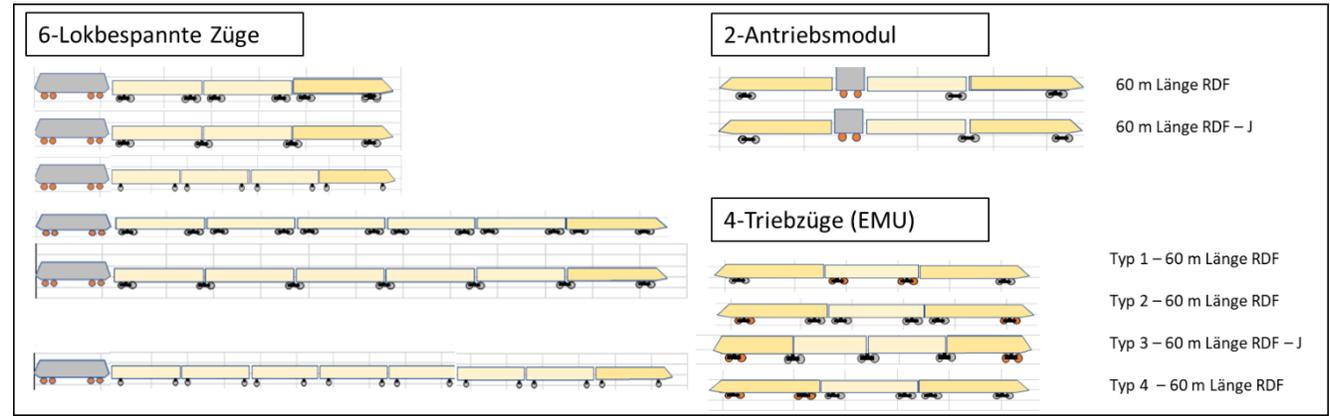


Véhicules

28 types de train et 60 bogies

- 12 véhicules génériques
 - LBS_1, 2, 3 / 4, 5, 6
 - AM-1, 2
 - TZ_1, 2, 3, 4

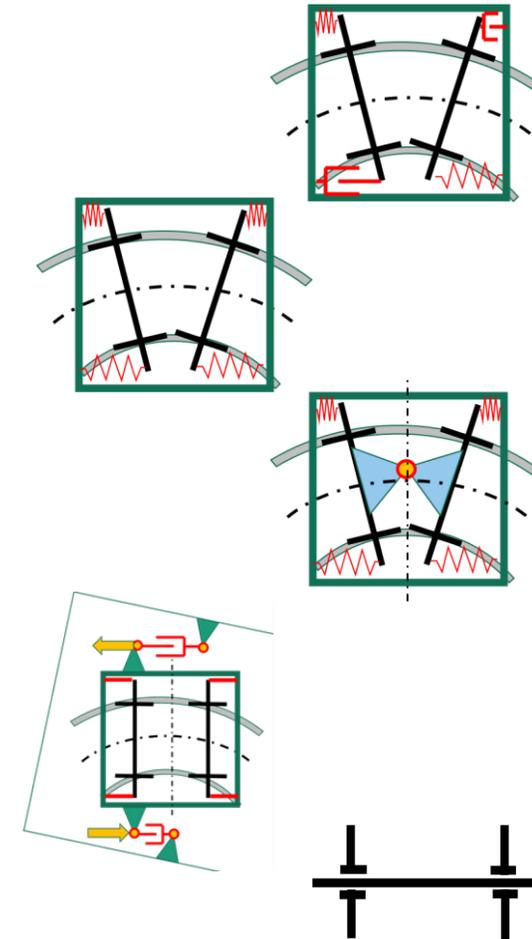
- 16 véhicules en exploitation
 - RBS: Worbla, Next
 - RhB: Capricorn, Allegra, Alvra
 - MVR: Surf
 - zb: Fink, Spatz
 - MOB: GPX, GPP
 - MGB: Komet, Orion, Shuttle
 - TMR: Z800, Z870
 - TPF: ABe-4/12



Tous les concepts de train imaginables et réalisables analysés!

Description des mesures d'amélioration

- Commande active d'inclinaison des essieux
 - avec différents pourcentages d'inclinaison (25, 50, 75, 100 %)
- Guidage élastique des essieux
 - avec différentes rigidités (2, 3, 4, ≥ 10 kN/mm)
- Couplage mutuel des essieux (couplage transversal)
- Amortisseur longitudinal actif
(orientation du bogie dans la courbe)
- Roue libre

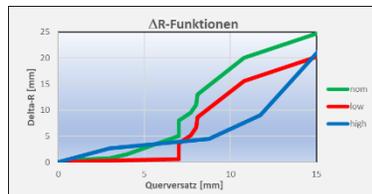


Toutes les améliorations combinées avec tous les concepts de train!

Étude des paramètres d'influence

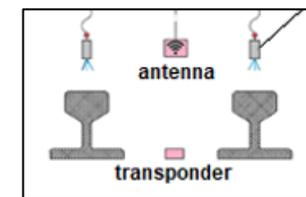
- ❑ Géométrie de contact (profil de la roue)

- ❑ $\Delta r = 0, 4, 9$ mm

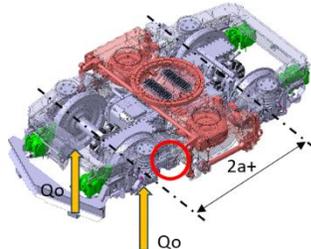


- ❑ Lubrification des boudins de roue SKS

- ❑ Conditionnement du champignon du rail SKK



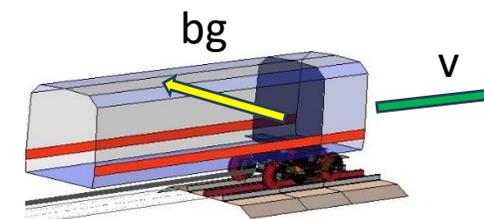
- ❑ Charge par essieu



- ❑ Empattement

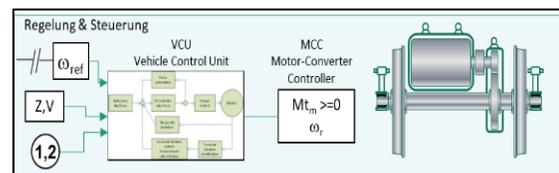
- ❑ Vitesse de déplacement ou accélération latérale – (-0.5, 0, 0,5 0.8 m/s²)

- ❑ Aussi pour engrenage (0,4 m/s²)



- ❑ Glissement de traction

- ❑ 0, 1,5, 4 km/h



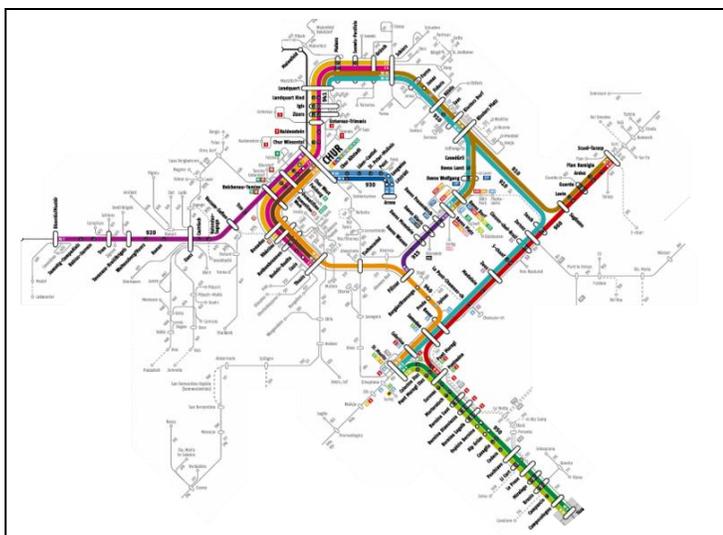
Contrôle de la traction

L'ensemble des paramètres, des améliorations et des concepts de train constituent une évaluation complète du système de voie métrique.

Champ d'application: caractérisation des lignes

- ❑ Il a été possible de définir 4 lignes caractéristiques en fonction des rayons de courbure du tracé:
 - ❑ 1-très petit, 2-petit, 3-moyen et 4-grand rayon de courbure
- ❑ Les lignes existantes sont attribuées aux lignes de référence en fonction de leurs tracés:
 - ❑ Exemple de la ligne 7: Reichenau-Tamins - St.

Réseau de lignes

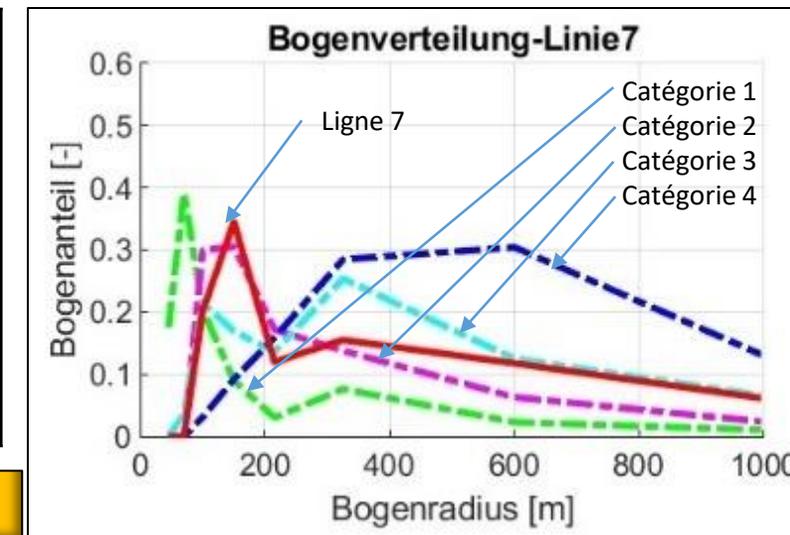


Attribution de la catégorie

Ligne	N° de	jusqu'à	Catégorie
1	910 Landquart	Davos	4
2	915 Monastères	Filisur Disentis	2
3	920 Landquart	Mustér	4
4	959 Samedan	Pontresina	4
5	960 Bever	Scuol-Tarasp	4
6	930 Coire	Arosa	1
7	940 Reichenau-Tamins	St. Moritz	2
8	950 St. Moritz	Tirano	2

Large éventail de tracés

Répartition des courbes



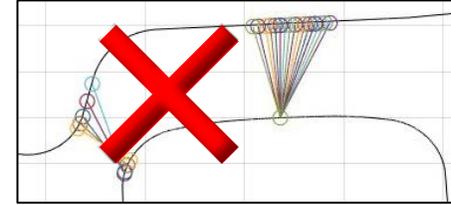
Enseignements généraux

- ❑ Pour une utilisation à faible usure, un **profil de roue optimisé et adapté à l'usure est** nécessaire, ceci ne peut être compensé ni par une optimisation du bogie, ni par une commande active des essieux ou une meilleure régulation de la traction

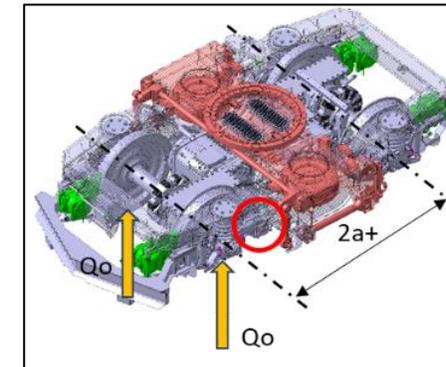
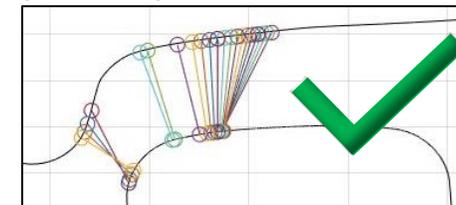
- ❑ Le paramètre déterminant pour l'usure d'un bogie avec des essieux conventionnels est le **produit** de :
« charge par essieu * empattement »
 - ❑ il existe une relation linéaire pour toutes les propriétés d'un bogie
 - ❑  permet de déterminer de manière suffisamment fiable le comportement à l'usure et à l'endommagement de n'importe quel bogie, dans n'importe quelle configuration et quel que soit le rayon de courbure

- ❑ Si l'inclinaison radiale des essieux n'est pas complète, l'utilisation de la **lubrification des boudins de roue SKS** reste **nécessaire**

Parcours des pt. contacts, profil RTE actuel

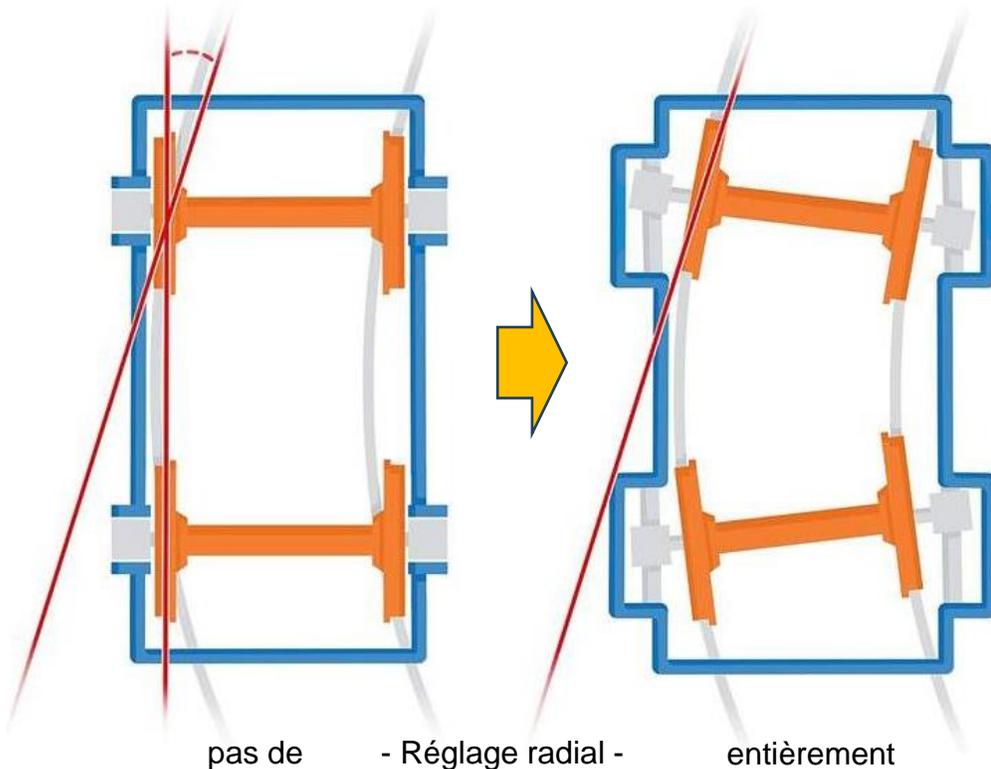


Parcours pt. de contact, profil adapté



Enseignements généraux

- ❑ Une inclinaison radiale des essieux



- ❑ réduit:

- ❑ L'usure
- ❑ Les forces au point de contact rail/roue
- ❑ Le grincement dans les virages
- ❑ Usure ondulatoire des rails
- ❑ Mal-ronds des roues

- ❑ remplace:

- ❑ Les éventuels absorbeurs de bruit des roues
- ❑ Conditionnement du champignon du rail SKK

- ❑ augmente:

- ❑ La valeur d'adhérence
- ❑ La force de traction
 - ❑ Pour exploiter ce potentiel, il convient le cas échéant, d'optimiser la régulation de la traction

Profil de roue avec $\Delta r > 4\text{mm}$ - commande active au lieu de SKK - usure selon $\sim (2ak * 2Qo)$ - Optim. régulation de la traction!

Etude de l'intégration dans des cadres bogies existants

❑ Choix du bogie (Stadler Rail AG)

- ❑ Etude réalisée par la société Stadler Rail AG
 - ❑ Analyse sommaire et analyse détaillée
 - ❑ Interventions minimales pour réduire les coûts

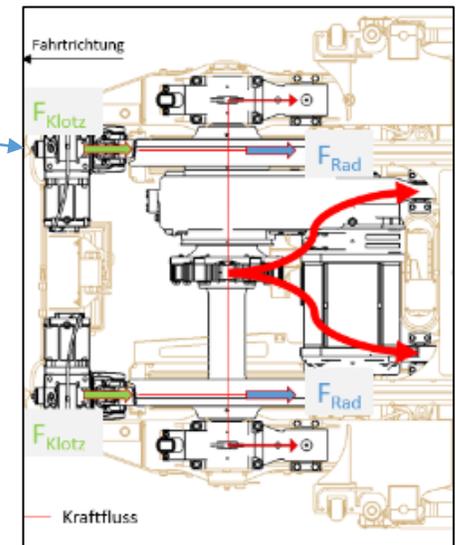
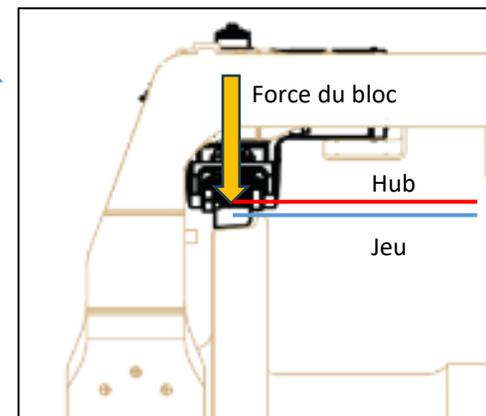
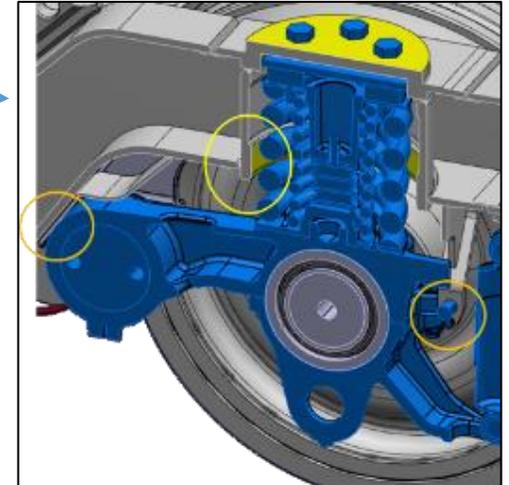
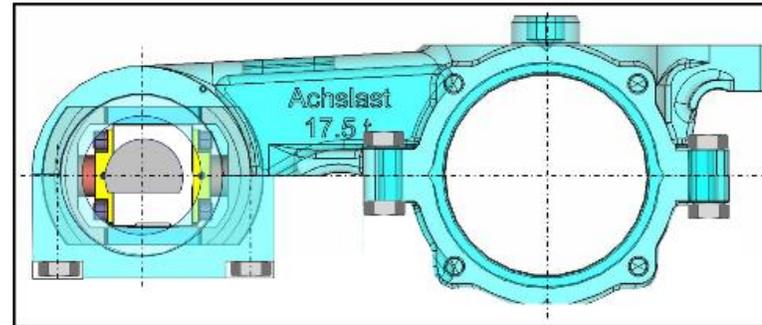
❑ Améliorations possibles

- ❑ guidage élastique de l'essieu
- ❑ couplage mutuel des essieux
- ❑ commande active des essieux (totale ou partielle)
- ❑ amortisseurs de roulis actifs (Komet uniquement)

Chemin de fer	Véhicules	Bogie	Nombre de vhc.
MGB	Komet / Shuttle	LDG/MDG	32 / 36
TPF	ABe 4/12	<u>LDG/MDG</u>	24 / 12
RhB	Capricorn (RTZ)	<u>LDG</u> /MDG	280 / 168
RhB	Allegra (ZTZ)	LDG	30
RBS	Worbla	JDG/MDG	42 / 28

Etude du débattement radial des essieux

- ❑ Suspension primaire et guidage des essieux
 - ❑ Course possible limitée
- ❑ Cadre, bras d'essieu
 - ❑ Intégration de vérins hydrauliques
- ❑ Moteur, réducteur
 - ❑ Le coupalge central exige un actionnement des deux côtés
- ❑ Freins
 - ❑ Le frein à sabot limite la course possible
- ❑ Interface entre le bogie et la caisse du véhicule
 - ❑ Faisabilité d'installer un amortisseur actif
- ❑ Analyse de risque/acceptation pour la commande active des essieux

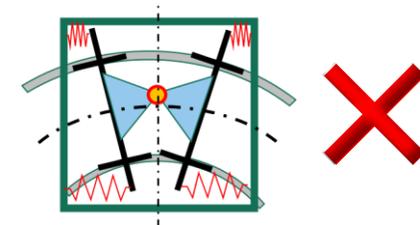
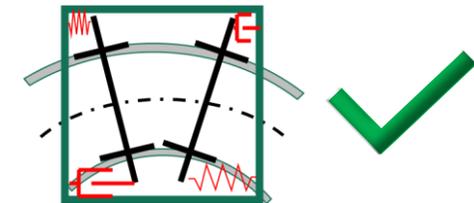
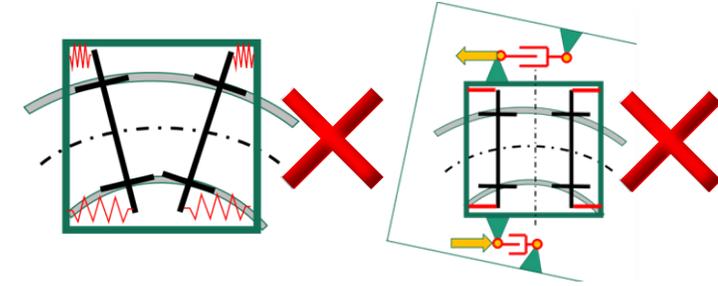


Enseignements

- ❑ Le guidage élastique des essieux et les amortisseurs de roulis actifs n'offrent aucun avantage dans les rayons de courbure inférieurs à 200 - 300 m, de plus un amortisseur actif ne peut pas être installé ultérieurement à un coût raisonnable.

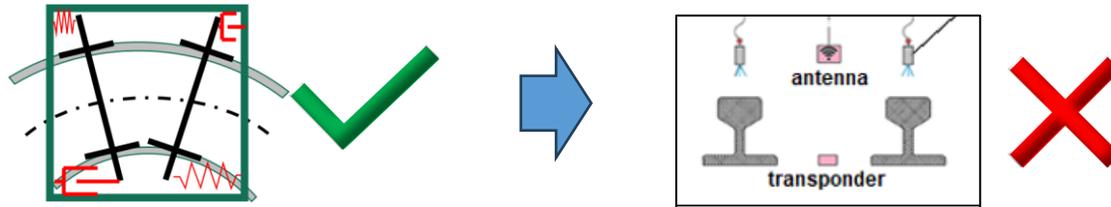
- ❑ Dans les rayons de courbure inférieurs à 200 – 300 m, les systèmes de guidage passifs atteignent leurs limites, de sorte que seules des commandes d'inclinaison d'essieux **actives** permettent d'obtenir des améliorations.

- ❑ Un couplage transversal des essieux ne peut pas être installé ultérieurement à un coût raisonnable.
 - ❑ pour les véhicules neufs, cette solution mérite d'être étudiée



Enseignements

- ❑ Pour les bogies une inclinaison de +/- 6 mm est réalisable au niveau du bras d'essieu (des deux côtés), ce qui permet de renoncer à l'utilisation du conditionnement du champignon de rail SKK



- ❑ Tous les risques potentiels tels que des erreurs de commande ou la défaillance d'une commande d'essieux se situent dans la zone « négligeable »

Le montage ultérieur d'une commande active des essieux permet de se passer de SKK!



Analyses spécifiques aux chemins de fer

Aperçu

- Vue d'ensemble
- Mise en évidence de l'état actuel (comparaison réel-calculé)
- Evaluation des potentiels d'amélioration
- Mesures pour renoncer au conditionnement du champignon du rail
- Usure due à la traction et au freinage
- Indication du facteur d'usure voie métrique



Vue d'ensemble

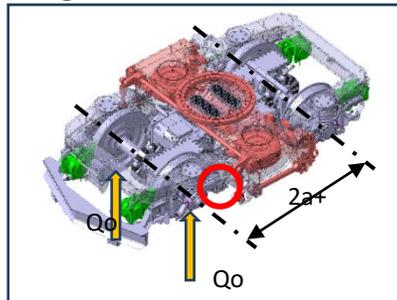
Composition (n'importe quelle composition)

- Composition-1: RTZ

- Composition-2: ZTZ

- Composition-3: ZTZ + EW-x
 + 2 * 
- Composition-4: GZ
 + 
- etc.

Bogie



Une analyse complète pour roue et rail!

Données exploitation:

- ID de la composition
- Composition
- Kilométrage/jour, année

Engagement des composition:

- Engagement via des rotations représentatives
- Rayons, pentes, etc.

Caractéristiques:

- Fréquence des rayons
- Pentas

Usure des rails, etc:

- Surface de roulement en mm / 6Mte / classe rayon
- Hauteur en mm / 6Mte / classe rayon
- Points critiques concernant le bruit, usure rails, etc

Usure des roues:

- mm de surface de roulement / 10'000 km
- Boudin de roue mm / 10'000 km

Données techniques:

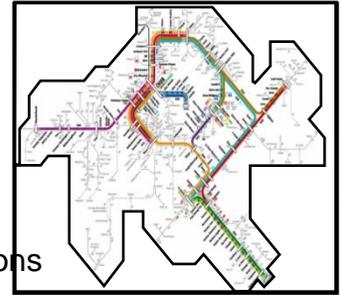
- Charge par essieu
- Empattement
- Guidage de l'essieu: rigide, etc.



Analyse Résultats & Prévisions:

- Catégorisation des lignes d'intervention
- Usure des roues, usure des rails
- Prévisions des potentiels d'amélioration
- Mesures pour renoncer à la CVC
- Analyse de l'usure par traction
- Input « Facteur d'usure de la voie métrique »

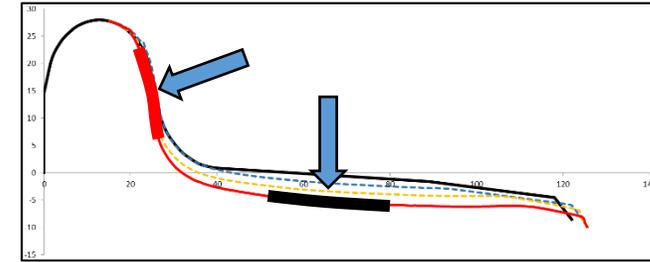
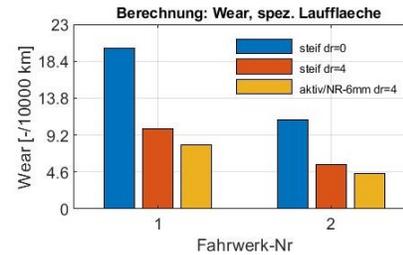
Réseau de lignes: Tronçons



Analyse de l'usure des roues des bogies (exemple: RhB - Capricorn)

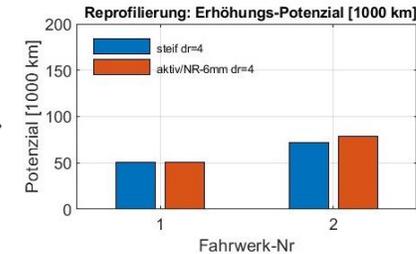
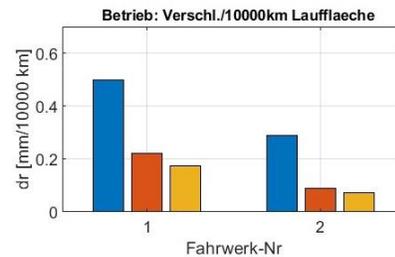
Valeurs d'usure calculées

- pour les deux profils de roue avec 0 et 4 mm Δr
- pour la commande active des essieux avec 4 mm Δr



Valeurs d'usure spécifiques de l'exploitation

- pour les deux profils de roue avec 0 et 4 mm Δr
- pour la commande active des essieux avec 4 mm Δr
 - déterminé par des calculs

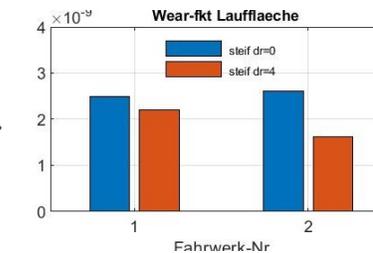
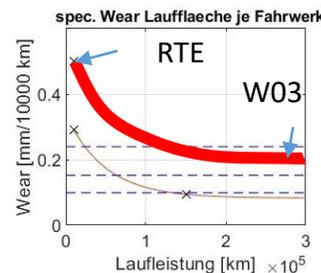


Potentiel d'allongement de l'intervalle de reprofilage

- Profil: + 50 - 70 tkm
- Profil + contrôle actif des essieux: + 50 - >80 tkm

Evolution de l'usure spécifique en fonction du kilométrage

- déterminé à partir de données pour deux kilométrages
- pour tous les bogies de la composition

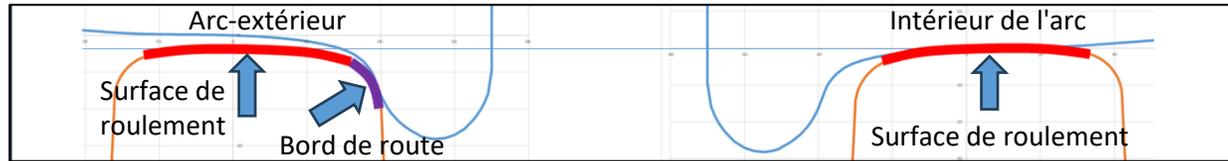


Calibrage loi sur l'usure

- En tenant compte des matériaux, des conditions d'utilisation et de l'environnement
- Pour une utilisation spécifique

Prévisions d'usure des roues spécifique au bogie, à la solution retenue et à l'utilisation

Analyse de l'usure des rails (exemple: RhB - Capricorn)

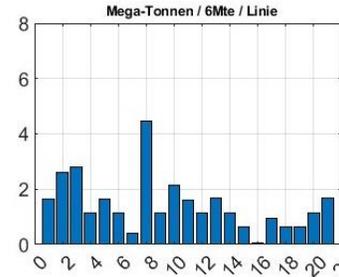
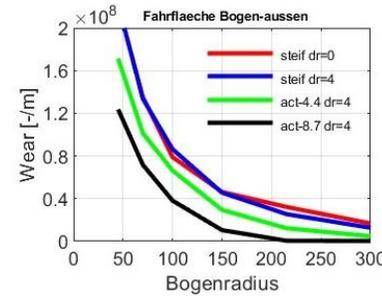


Potentiel de réduction de l'usure spécifique

- du profilé de 0 mm au profilé de 4 mm Dr
- pour différentes améliorations

Valeurs d'usure calculées

- pour une ligne donnée
- toutes les classes de rayons de courbure
- toutes les compositions
- pour 6 mois

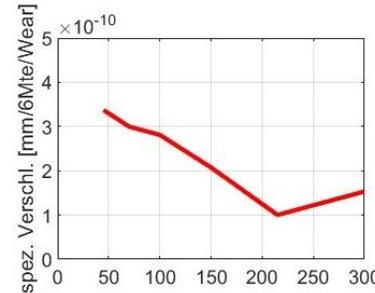
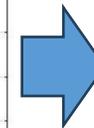
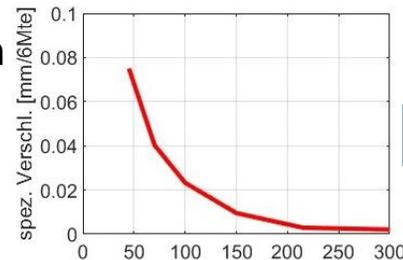


Charge de la voie

- méga-tonnes / 6 mois
- pour ligne spécifique
- toutes les compositions
- input « Facteur d'usure de la voie métrique »

Valeurs d'usure spécifiques de l'exploitation

- pour une ligne donnée
- à partir de données de 2 mesures à 6 mois
- valeurs moyennes pour toutes les classes de rayons de courbure



Calibrage loi sur l'usure

- en tenant compte des matériaux, des conditions d'utilisation et de l'environnement
- pour une ligne et des classes de rayon spécifiques

Usure des rails et prévisions, charge de la voie, input pour « facteur d'usure voie métrique ».

Rentabilité

Déterminer la rentabilité des mesures d'amélioration



- Les analyses effectuées  fournissent des informations essentielles pour évaluer la rentabilité des mesures proposées
 - pour l'entretien des véhicules
 - pour l'entretien des voies

- Potentiels concernant l'utilisation d'une commande active des essieux
 - En raison de la suppression de SKK, l'utilisation d'une commande active des essieux peut s'avérer rentable grâce à un LCC plus faible.
 - Cette évaluation est traitée dans le cadre du projet P6 avec le soutien de P5 (Livrable LO 2.5).
 - Les économies supplémentaires réalisées au niveau de l'entretien des essieux, de la protection contre le bruit et de l'amélioration de la traction améliorent encore la rentabilité.

L'utilisation d'une commande active mérite d'être étudiée!

Conclusions

et analyses spécifiques aux chemins de fer

- ❑ Les bases du système de calcul et d'évaluation développé dans le cadre de  permettent de déterminer de manière fiable toutes les caractéristiques d'usure de n'importe quel bogie ou véhicule.
- ❑ La qualité des résultats dépend grandement de la précision et de la quantité de données qui sont mises à disposition par les chemins de fer (exploitation des trains, usure, etc.).
- ❑ Grâce à la vaste base de données de la , la détermination de ces caractéristiques s'effectue sans calculs de simulation supplémentaires.
- ❑ L'outil peut être facilement complété par des analyses supplémentaires correspondant aux besoins des chemins de fer.

 **permet d'évaluer tous les types de véhicules sans calculs de simulation supplémentaires!**

Suite proposée



et analyses spécifiques à la piste



1. Les chemins de fer annoncent leur intérêt pour une analyse spécifique auprès de la maîtrise de système
 - y compris une description sommaire de l'objectif (à partir de mi-avril environ)
2. P5 définit l'étendue ainsi que le déroulement de l'analyse
 - P5/RSE établissent une planification ainsi qu'une estimation des ressources, des charges et des coûts
 - après accord mutuel sur les modalités, l'analyse débute
3. Le chemin de fer rassemble les données et les met à disposition de P5/RSE
4. P5/RSE effectuent l'analyse et rédigent un rapport
5. L'analyse sera présentée et discutée lors d'un atelier commun

**L'initiative pour relayer analyse spécifique revient aux chemins de fer!
L'étendue de l'analyse doit s'orienter autour des besoins des chemins de fer!**

Merci beaucoup!

