

ANALYSE DE L'USURE DES ROUES DANS LA TRACTION FERROVIAIRE

Analyses de suivi

La compréhension de l'usure des roues d'une locomotive est un élément clé pour prévoir précisément les dégradations et les besoins de maintenance. Swiss Federal railways (SBB) et ABB ont lancé ensemble une activité de collecte et d'analyse de données pour mieux comprendre l'usure des roues et la dégradations des essieux montés sur les locomotives Re 460.

—
Andrea Cortinovis, Lucas Schmid, Christian Huber
ABB Traction
Turgi, Suisse

andrea.cortinovis@ch.abb.com
lucas.schmid@ch.abb.com
christian.huber@ch.abb.com

Robert Birke
Corporate Research
Baden-Daettwil, Suisse

robert.birke@ch.abb.com

Pour transporter quelque chose, une locomotive doit appliquer une force de traction qui ne peut s'exercer que si les roues « s'accrochent » au rail, c'est-à-dire qu'à la force de traction qui fait accélérer le train doivent correspondre des forces d'adhérence entre la roue et le rail. Si la force de traction dépasse la limite d'adhérence dans des conditions normales, celle-ci est perdue, les roues tournent sans s'accrocher au rail et le train ne peut pas accélérer, c'est le patinage. Ce patinage est déterminé par divers facteurs, dont le poids appliqué sur l'interface roue-rail, la déclivité du rail, le comportement du conducteur et les conditions ambiantes, telles que l'humidité, les conditions météo ou la contamination de la surface des rails, qui limitent la force de traction exploitable.

Le patinage est problématique et entraîne l'usure et la dégradation des rails et des roues. L'usure et la dégradation dépendent aussi d'autres aspects de l'interaction train-rail, dont les

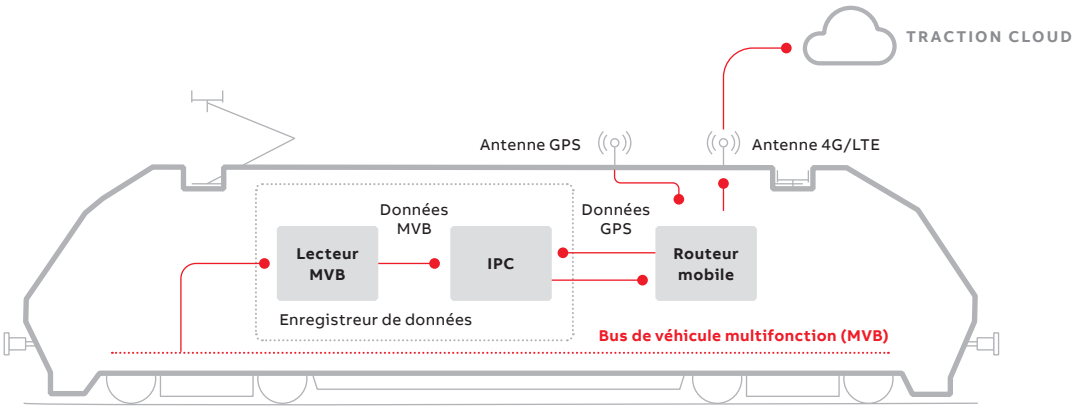
—

Le projet visait l'optimisation de la transmission et du contrôle de l'adhérence.

vibrations de torsion et les forces d'accélération et de freinage.

Interactions roues-rails

Les performances, la sécurité, les frais d'exploitation et la fiabilité des opérations ferroviaires dépendent grandement de l'interaction mécanique au niveau de l'interface entre les roues et les rails. Cela est décrit dans l'illustration [1].



01

—
01 Collecte de données sur la locomotive Re460.

—
02 Flux de données à partir de données brutes, pour le calcul des avantages au client.

Une présentation détaillée des prévisions et de la gestion de l'état est fournie dans l'article de référence [2]. De nombreux projets de recherche ont permis de mieux comprendre les propriétés mécaniques des roues et des rails, la maintenance des roues et des profils de rails, les propriétés mécaniques des bogies (rigidité, etc.) et les propriétés d'amortissement des semelles de rail.

Dans la pratique, les interactions roues-rails à la surface de contact sont très complexes et fortement impactées par les conditions d'adhérence variables qui causent les interactions avec le groupe motopropulseur, en particulier pour les essieux moteurs. Il faut mieux comprendre ces effets pour pouvoir optimiser la transmission et le contrôle de l'adhérence et pour améliorer le système même.

Partenariat
Swiss Federal Railways (SBB) et ABB se sont lancés ensemble dans une activité de création basée sur la numérisation, pour améliorer leur compréhension et obtenir de nouvelles informations dirigées par les données concernant l'usure des roues dans la flotte Re 460 [3].

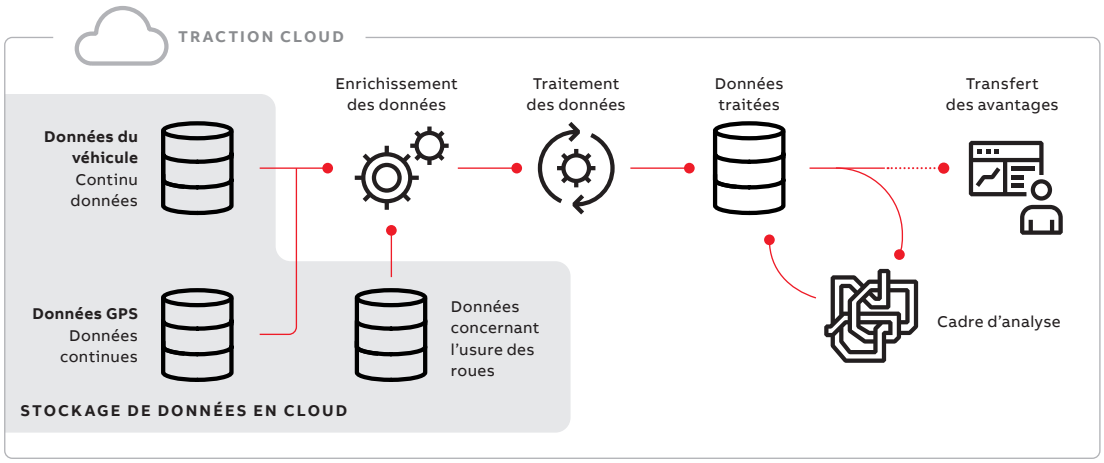
Les 119 locomotives de la classe Re 460 datant des années 1990 comportent un équipement électrique fourni par ABB [4]. Ensemble, SBB et ABB ont récemment fortement modernisé cette flotte, entre autres en ajoutant de nouveaux convertisseurs de pointe [5].

Cette activité de recherche incluait le comportement du contrôle de traction dans des conditions d'adhérence difficiles et l'utilisation du frein

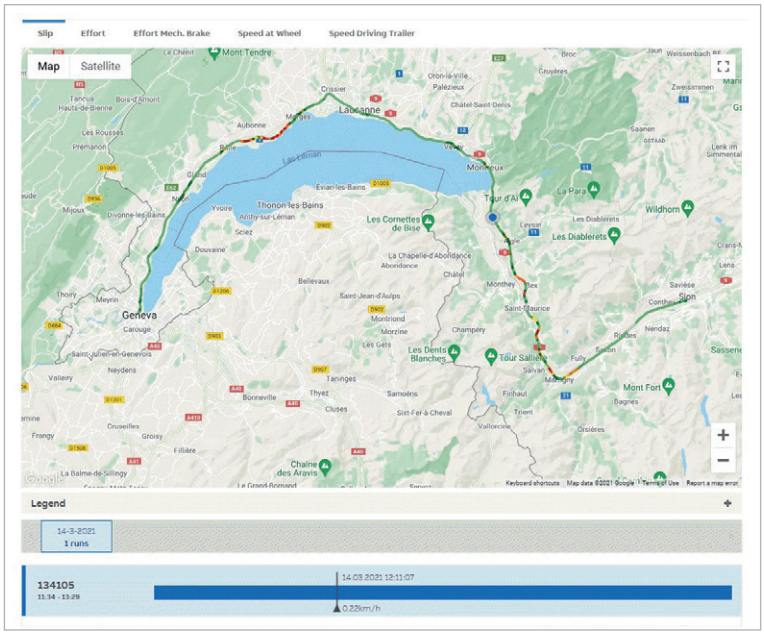
Les conditions d'adhérence variables impactent fortement les interactions roues-rails.

à câble, des freins d'urgence ou de l'appareil de sablage. En lien avec la modernisation des Re 460, la compréhension des vibrations de torsion des essieux montés a été privilégiée [6].

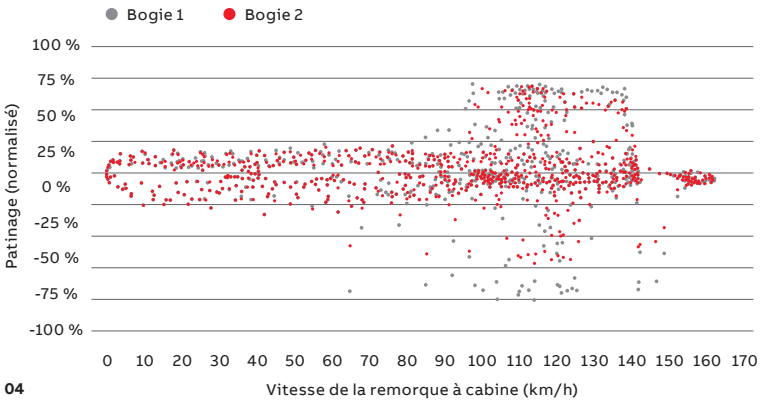
Collecte des données
Les cinq locomotives Re 460 utilisées dans cette étude ont été dotées d'un PC industriel (iPC) compatible train, capable de lire les données provenant du bus de véhicule multifonction (MVB) via un lecteur MVB →01.



02



03



04

Le lecteur MVB est configuré pour lire tous les signaux pertinents pour le contact roue-rail à une fréquence d'échantillonnage de 20 Hz et pour les transférer à l'iPC. Les signaux capturés comprennent, par exemple, l'effort de traction, la pression d'air dans la conduite principale de frein et les cylindres de frein, l'intensité des vibrations de torsion des essieux, la vitesse de rotation des quatre essieux motorisés et la vitesse du véhicule.

Un second canal de données capture la position géographique de la locomotive à chaque seconde. Ces données sont fournies par un routeur mobile, un composant installé de série sur chaque Re 460 et qui fournit également un canal de transmission sécurisé des données entre l'iPC et le 'Traction Cloud', grâce au réseau mobile. Cette connexion sert à transmettre les données collectées →02.

Des données aux connaissances

Après avoir reçu les données, le Traction Cloud traite et stocke les données à l'aide de pipelines de données. Les tâches types des pipelines de données sont la fusion des sources de données (p. ex. les données d'usure des roues hors-ligne), l'agrégation des données, le calcul des différentes statistiques et l'analyse des données. Les avantages au client sont finalement transférés via des visualisations, des rapports générés et

Le portail internet permet d'identifier les incidents ou situations inhabituels ou spéciaux

des interfaces de données et ils servent de base pour les ateliers d'analyse dans un contexte de co-création.

Par exemple, un portail Web sur mesure a été développé pour visualiser les données traitées. Cela peut permettre de voir rapidement l'historique d'utilisation des locomotives. De plus, cela permet d'identifier les incidents ou situations inhabituels ou spéciaux pour les analyser de façon plus détaillée.

En plus d'afficher les signaux les plus importants dans le domaine temporel, le portail Web permet de sélectionner les différentes vues pour l'inspection des données. Par exemple, deux signaux peuvent être affichés dans un graphique en nuage de points ou un histogramme bidimensionnel sous forme de distribution de fréquence. Le portail peut également superposer les données sur une carte géographique, identifiant, par exemple, les emplacements présentant un patinage de roues excessif →03.

Le portail Web propose différentes capacités de filtrage, pour ne visionner qu'un sous-ensemble de données. Par exemple, on peut afficher les données de l'un ou des deux bogies. L'utilisateur peut en outre filtrer les données selon la configuration de train, Par exemple, seulement des trajets où la locomotive pousse plutôt que de tirer, avec un bogie spécifique devant.

Étude de cas : conditions d'adhérence difficiles

L'exemple suivant illustre l'utilisation du portail Web pour mieux comprendre le comportement de la locomotive dans des conditions données. Dans →03, le patinage roue-rail est présenté en couleur sur la carte pour une journée pluvieuse sur le tronçon reliant Sion à Genève (Suisse).

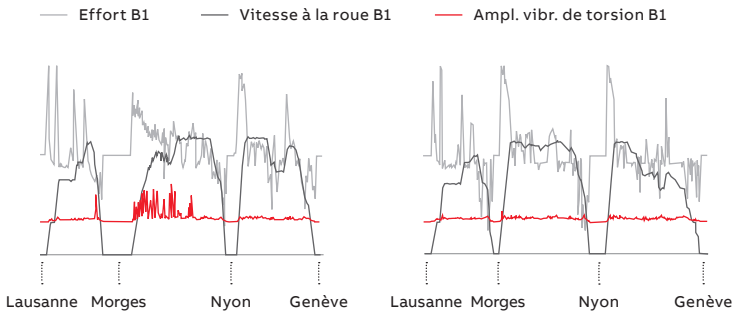
—
03 Patinage de roues par positionnement GPS. Les faibles valeurs de patinage sont affichées en vert et les valeurs élevées en rouge.

—
04 Répartition du patinage de roues par rapport à la vitesse du véhicule pour un trajet dans des conditions d'adhérence difficiles.

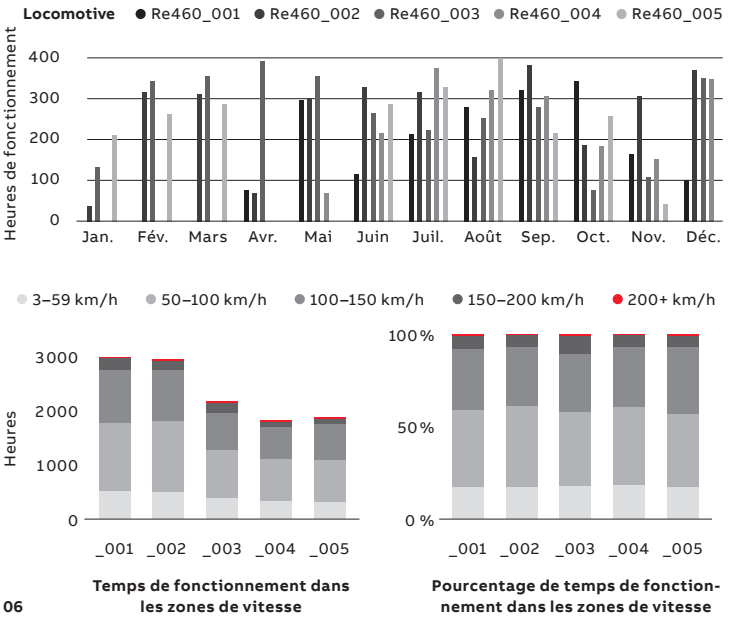
—
05 Visualisation comparative de deux trajets sur la même ligne dans des conditions d'adhérence difficiles (gauche) et des conditions sèches (droite).

—
06 L'outil permet d'effectuer une comparaison statistique des différentes locomotives pour lesquelles les données sont collectées.

Les données indiquent qu'il y avait des conditions d'adhérence difficiles sur de longues parties de la ligne (visualisées en rouge et orange pour montrer les conditions plus glissantes). L'utilisateur peut voir ce trajet dans un graphique en nuage de points avec n'importe quelle combinaison de signaux. Par exemple, dans →04, la vitesse est présentée par rapport au patinage de roue. Le graphique montre que le patinage de roue augmentait sur ce trajet surtout à des vitesses élevées. Les données montrent que le bogie avant (Bogie 1) a souvent un patinage de roue plus élevé que le bogie suivant. Cet effet est souvent observé dans des conditions d'adhérence difficiles. Le contrôle de traction optimise la traction générale de la locomotive en produisant un patinage de roue plus élevé sur le bogie de tête, ce qui conditionne la surface du rail pour le bogie suivant.



05



Temps de fonctionnement dans les zones de vitesse

Pourcentage de temps de fonctionnement dans les zones de vitesse

06

Une autre comparaison intéressante est présentée à la figure →05. L'outil affiche deux trajets sur la même ligne de chemin de fer. Le diagramme de gauche représente des conditions d'adhérence difficiles et celui de droite des conditions favorables.

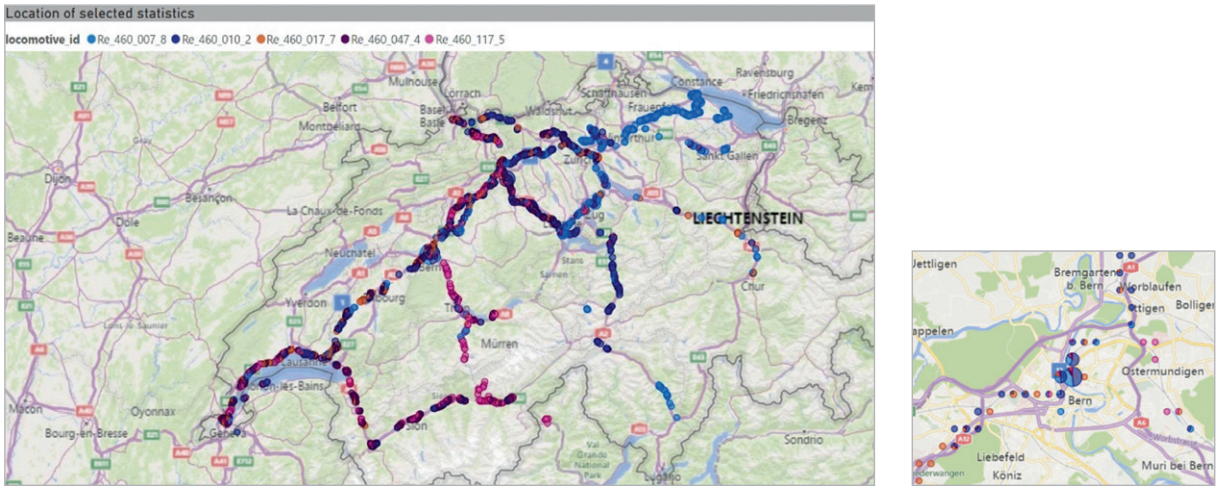
—
L'usure des roues impacte grandement la disponibilité et la durée de vie des locomotives.

Statistiques

En plus des informations détaillées, l'outil peut générer des aperçus rapides grâce à deux types de statistiques : les statistiques générales qui fournissent des aperçus des locomotives et les statistiques géographiques qui agrègent les données par rapport aux coordonnées GPS.
Les statistiques générales facilitent la comparaison des données de différentes locomotives. Elles affichent les données et événements sur différentes durées (p. ex., mois ou années). Par exemple, les tracés des heures de fonctionnement et du kilométrage donnent des informations de base sur le déploiement des différentes locomotives →06.
Il est également possible de combiner ces données, p. ex. pour voir différentes classes de vitesses de fonctionnement.
Les géostatistiques sont des diagrammes circulaires sur une carte, la taille du diagramme représentant la valeur totale pour un paramètre et les quartiers du diagramme représentant les valeurs en fonction des coordonnées GPS. Cela facilite l'interprétation des données de la locomotive par rapport à certains emplacements et on peut identifier, p. ex., des points de fort sablage →07 ou de fortes vibrations de torsion.
Il est également possible de capturer le rapport avec les données météo, comme un patinage causé par des rails humides.

Usure des roues

L'usure des roues est vérifiée régulièrement pour voir s'il faut remplacer ou reprofiler un essieu monté. Le remplacement est difficile, mais même les mesures et le reprofilage du profil de roue nécessitent des temps d'arrêt (en comptant le besoin de mettre la locomotive hors-service). L'optimisation de la maintenance et de l'usure des roues est donc très économique.

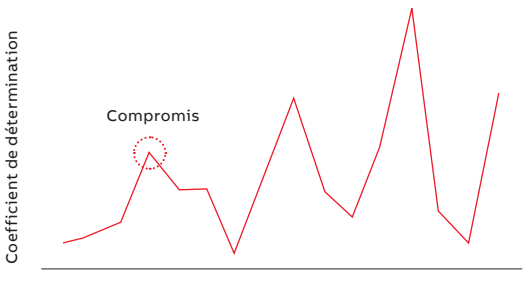


07

L'objectif de l'analyse des données d'usure des roues est, d'une part, de prédire l'usure des roues pour ne réaliser des mesures de roues que si c'est nécessaire et, d'autre part, d'identifier les principaux facteurs d'usure des roues et d'introduire les optimisations pour rallonger la durée de vie de la roue.

Dans l'analyse réalisée, une liste de signaux de train pouvant influencer l'usure des roues est créée à partir des données enregistrées et des connaissances existantes. Ces signaux passent alors par un processus de sélection de fonctionnalité pour identifier les meilleurs modèles. Les signaux constants sont supprimés. Ensuite, le modèle est programmé avec des sous-ensembles décroissants des signaux restants. À chaque passage, le signal le moins important est retiré. Le modèle réduit est évalué avec son coefficient de détermination →08. Le coefficient de détermination établit l'écart des données qui s'explique par le modèle (une valeur élevée est préférable, max. 1,0). À partir des coefficients de détermination, le plus petit groupe de signaux représentant le meilleur compromis en termes de performances de modèle est sélectionné (cinq dans le cas présenté). Ces signaux sont saisis dans le modèle dirigé par les données.

> La compréhension des nombreuses interactions physiques pourrait s'améliorer.



08

Des modèles de régression linéaires basés sur le kilométrage suffisent souvent à prédire l'usure des roues. En utilisant les données supplémentaires et en étudiant les différents algorithmes de programmation machine, on élabore un modèle plus précis. Pour présenter la précision du modèle, →09 représente les valeurs mesurées (axe x) par rapport aux valeurs prédites (axe y). Dans l'idéal, tous les points doivent être sur la diagonale, indiquant que la valeur prédite est égale à la valeur donnée.
La forêt aléatoire (droite) utilise les cinq signaux de →10 pour améliorer l'erreur absolue moyenne de 22,8 % par rapport au modèle de régression linéaire simple (gauche).

Résultats exploitables

Les données collectées et analysées dans ce projet ont permis de développer la compréhension des nombreuses interactions physiques et la transparence des mécanismes d'usure de la transmission et des roues. Le logiciel a pu être réglé au niveau de la chaîne de transmission, pour augmenter le kilométrage des essieux montés.

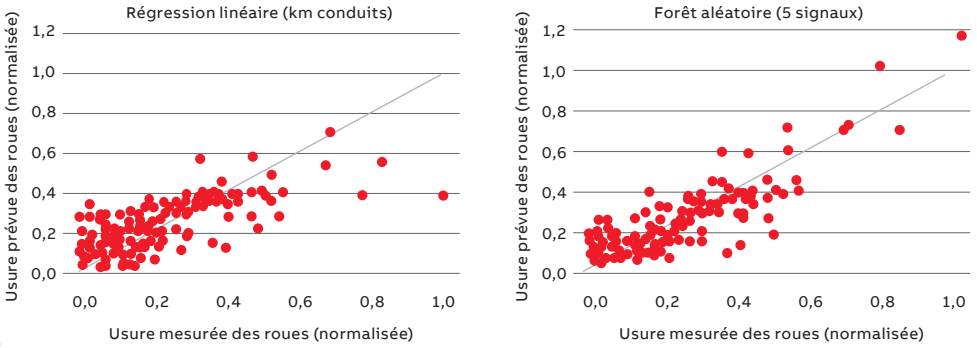
En plus des champs d'étude définis au début de la collaboration, les données enregistrées ont également pu être utilisées pour d'autres éléments, tels que l'essai de résistance à la fatigue des essieux par rapport aux vibrations de torsion, la détection des problèmes de capteurs avant les essais, la compréhension des rebonds de pantographe avec des lignes aériennes fixes, etc. Cela montre comment

—
07 Diagrammes circulaires superposés sur une carte montrant la fréquence d'utilisation de l'équipement de sablage.

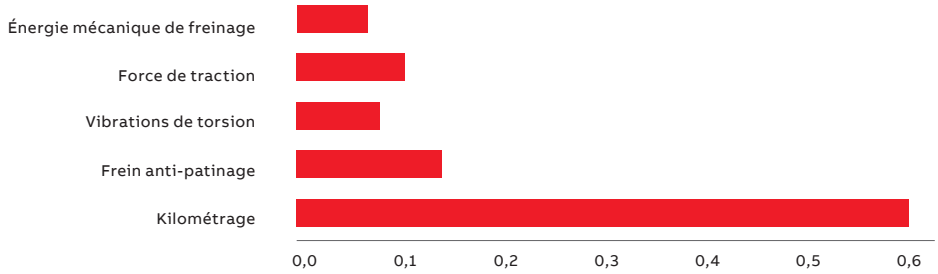
—
08 Coefficient de détermination pour la diminution du nombre de signaux.

—
09 La forêt aléatoire (à droite) améliore l'erreur absolue moyenne de 22,8 % par rapport au modèle de régression linéaire simple (à gauche).

—
10 Les cinq signaux provenant du processus de sélection.



09



10

les données peuvent être utilisées de façon polyvalente pour exploiter le potentiel caché

—

En plus des champs d'étude définis à l'origine, les données enregistrées ont également pu être utilisées pour autre chose.

lorsque les données sont rendues disponibles sous une forme traitée et structurée.

Les connaissances acquises durant ce projet serviront aussi à concevoir des convertisseurs et commandes de convertisseurs.

Enfin, tous les grands projets offrent des leçons. En particulier au début du projet, il a fallu un travail considérable pour enregistrer de façon fiable les données et créer une base de données bien structurée. Les données mêmes présentaient plusieurs difficultés, telles que la consolidation de séries de temps très lentes ou très rapides, les problèmes de qualité de données ou le mélange corrélation-causalité.
Ce projet fut aussi un exemple précieux de co-création dans lequel le produit n'était pas un simple livrable mais pour lequel ABB et le client ont établi des objectifs communs, partagé des observations et dirigé le développement du début à la fin. •

—
Références

[1] R. Lewis, U. Olofsson, *Wheel-Rail Interface Handbook*, Woodhead Publishing, 2009.

[2] P. Dersin, A. Alessi, B. Lamoureux, M. Brahimi, O. Fink, « Prognostics and health management in railways », 27th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2017), Portoroz, Slovénie, 18–22 juin 2017.

[3] A. Cortinovis, R. Birke, L. Schmid, T. Wymann, C. Fehrenbach (2022). Radverschleißuntersuchung im Co-Creation-Ansatz: Von Rohdaten zum besseren Verständnis der Radabnutzung ZEVrail, 2022, numéro 08 (publication à venir)

[4] J. Luetscher, J. Schlaepfer, « "Loc 2000" – une nouvelle génération de locomotives polyvalentes. », ABB Review 10/1992, pp. 25 – 33.

[5] T. Hungerberger, Des convertisseurs à IGBT pour un lifting des locomotives Re460, ABB Review 1/2017, pp. 65 – 69.

[6] « ABB increases the energy efficiency of the 'Lok 2000' for even more sustainable operation in the future », Bulletin de presse ABB Suisse, 14 juillet 2020, https://new.abb.com/news/de/detail/65238/abb-increases-the-energy-efficiency-of-the-locomotive-2000-for-an-even-more-sustainable-operation-in-the-future [Consulté le 11 avril 2022].