

Mode de citation : Vuilleme Gaël, RAILplus / MOB : *Outils d'évaluation existants pour des chemins de fer sélectionnés*. Rapport technique, RAILPlusSF-00030, 24.09.2024

Liste des modifications

Version	Date	Responsable	Description
0.1	19.10.2023	Gaël Vuillème	Premier brouillon
0.2	25.10.2024	Gaël Vuillème	Brouillon complet
0.3	28.02.2024	Gaël Vuillème	Rapport rédigé et finalisé
0.3	28.02.2024	Roland Müller	Rapport contrôlé
0.4	23.03.2024	Roland Müller	Correction de la traduction
1.0	25.04.2024	Friedrich-Christian Walther	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter
1.0 F	24.09.2024	Gaël Vuillème	Mise à jour de la version française selon version 1.0

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Liste des abréviations

C1-C4	Contrôles en vue d'assurer la sécurité définis dans les DE-OCF
CAF	Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles – Fabricant de véhicule ferroviaire
CdR	Cercle de roulement
GMAO	Gestion de maintenance assistée par ordinateur (par exemple SAP ou Zedas)
GPX	GoldenPass Express
LO	Liferobjekt - Livrable
MOB	Compagnie du Chemin de Fer Montreux Oberland bernois SA
R0	Reprofilage des essieux
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn AG
RhB	Rhätische Bahn AG
SAP	Systemanalyse Programmentwicklung – Progiciel standard de gestion d'entreprise

Management Summary

Ce document présente le suivi de l'état des roues d'une compagnie de tramway, BERNMOBIL, et de trois de chemins de fer métriques, le MOB, les RBS et les RhB. Elles sont parmi les plus avancées dans le développement de l'analyse de l'usure des roues. Sont décrites les étapes de mesure, d'analyse de l'usure et les dommages aux roues. Aujourd'hui, le but de cette analyse est la maintenance, principalement pour la planification des reprofilages et les remplacements de roues ou de bandages, mais aussi le suivi de l'usure. En revanche, aucune de ces entreprises de transport n'analyse des données dans l'optique de comprendre et améliorer l'interaction entre rail et roue.

BERNMOBIL dispose d'une installation fixe de mesure dans l'atelier de maintenance qui transmet directement les données à SAP. Ils ont développé une interface depuis une page web qui permet de suivre les grandeurs sécuritaires de la flotte et les taux d'usure. Il est possible d'afficher deux grandeurs sur le même graphique pour chercher des corrélations ou des causes communes.

Le MOB utilise des tableurs Excel pour suivre l'évolution de l'usure ainsi que pour mesurer la profondeur du creux et la position du creux à partir du nuage de points des profils. Ces données permettent la planification des reprofilages et les remplacements de roues et de bandages. D'autre part, le MOB calcule la perte théorique d'un reprofilage afin de choisir le profil. Deux profils sont disponibles à cet effet. Finalement, un fichier séparé permet de calculer les grandeurs sécuritaires du profil d'après un nuage de points conformément aux RTE des voies normale et métrique a été introduit spécifiquement pour les véhicules à bogies à écartement variable. Il est nécessaire car l'appareil de mesure ne permet de mesurer selon les règles d'un écartement. Les données proviennent de mesures manuelle (CALIPRI Wheel) effectuées à des intervalles d'un à six mois suivant le type de véhicule.

Jusqu'à fin 2023, le MOB utilisait le programme A.U.R.A. Wheel, développé par NEM-Solutions et parfois avec le fabricant des appareils CALIPRI (NEXTSENSE, aujourd'hui HEXAGON) et distribué par CAF Digital Services, qui permettait d'afficher les profils et de suivre l'évolution des différentes grandeurs. Le produit a été transformé et l'augmentation du prix a conduit à son abandon.

Les données de RBS proviennent aussi de mesures CALIPRI Wheel effectuées tous les deux mois (20'000 km). L'analyse est effectuée sur des tableurs Excel. L'objectif est la planification des reprofilages et des révisions ainsi que la surveillance de l'usure. L'ensemble du profil de chaque roue ainsi que son évolution est analysé. Il permet aussi de calculer la perte minimale sur le tour en fosse. L'usure sur le cercle de roulement ainsi que les grandeurs sécuritaires sont surveillées. Leur progression est projetée et utilisée pour la planification de la maintenance.

Les RhB disposent de deux installations de mesures en pleine voie. La qualité des données n'est actuellement pas suffisante pour une analyse fiable. La planification des reprofilages et remplacements de roues et bandages se base sur les valeurs moyennes d'usure provenant de la mesure des diamètres sur le tour en fosse. Pour la flotte la plus moderne, une valeur d'usure au diamètre est spécifiée dans le cahier des charges. Les profils sont mesurés manuellement à l'aide d'un appareil OPTIMESS et l'usure du diamètre en exploitation est analysé dans un tableur Excel.

La détection des dommages peut se faire en marche, par le personnel roulant (constatation de bruit ou d'instabilités) ou celui de l'atelier (constatation de bruit depuis l'extérieur du véhicule en marche) ou à l'arrêt (contrôle visuel). Les dommages sont évalués généralement selon l'expérience ou selon les RTE 41500 (Maintenance d'essieux Voie métrique) et 41000 (Voie normale) plus complète que la version métrique.

Table des matières

1	Introduction	5
2	BERNMOBIL	6
2.1	Analyse des profils	6
2.2	Analyse des dommages	8
3	MOB.....	9
3.1	Analyse des profils	9
3.1.1	<i>Processus</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Mesures avec CALIPRI.....</i>	<i>9</i>
3.1.3	<i>Évaluation à l'aide d'A.U.R.A. Wheel.....</i>	<i>9</i>
3.1.4	<i>Évaluation à l'aide d'Excel.....</i>	<i>11</i>
3.1.5	<i>Cas particulier du GoldenPass Express</i>	<i>12</i>
3.1.6	<i>Creux</i>	<i>13</i>
3.2	Analyse des dommages	14
4	RBS.....	15
4.1	Analyse des profils	15
4.1.1	<i>Processus</i>	<i>15</i>
4.1.2	<i>Mesure avec CALIPRI.....</i>	<i>15</i>
4.1.3	<i>Évaluation à l'aide d'Excel.....</i>	<i>16</i>
4.2	Analyse des dommages	20
5	RhB.....	21
5.1	Analyse des profils	21
5.1.1	<i>Processus</i>	<i>21</i>
5.1.2	<i>Mesure à l'aide des installations de mesure fixes.....</i>	<i>21</i>
5.1.3	<i>Mesures à l'aide d'OPTIMESS</i>	<i>22</i>
5.1.4	<i>Évaluation à l'aide d'Excel.....</i>	<i>22</i>
5.1.5	<i>Creux</i>	<i>23</i>
5.2	Analyse des dommages	23
6	Conclusion.....	24
7	Tables.....	24
7.1	Références.....	24
7.2	Figures	24

1 Introduction

Le module 5 *Hardware et software pour la saisie, l'analyse et l'évaluation de l'interaction* décrit les appareils et outils pour la mesure et l'analyse de l'usure des roues et des rails ainsi que des dommages sur les surfaces de contact entre les roues et les rails. Le livrable précédent (5.1.1) décrit les appareils de mesure des profils et des dommages pour les roues et les rails ainsi que la localisation utilisée actuellement dans les compagnies de chemin de fer métrique suisse.

Le document présent, LO 5.1.2, décrit les outils d'analyse des données venant de chemin de fer sélectionnés à titre d'exemple. Si toutes les compagnies contrôlent les grandeurs sécuritaires du profil des roues, l'interprétation des données s'arrête parfois ici. D'autres analysent le taux d'usure sur le cercle de roulement et la hauteur de boudin et le diamètre des roues pour la planification des reprofilages et des remplacements de roues monoblocs et de bandages. Là encore, la part de travail manuel ou d'automatisation est très variable.

Compte tenu de cette diversité, les procédures de mesure et d'analyse de l'usure et des dommages subis par les roues ne peuvent être présentées qu'à partir d'un échantillon. Les compagnies sélectionnées sont BERNMOBIL, le MOB, RBS et les RhB.

Toutes les compagnies de chemin de fer sélectionnées ont une flotte suffisamment grande pour ressentir le besoin d'analyser les données d'usure pour planifier la maintenance. Le développement est récent est fait généralement en interne par les entreprises de transports, toujours de manière indépendante des autres chemins de fer. Il résulte d'un besoin pour la planification de la maintenance et non d'une étude de l'interaction entre rails et roues.

2 BERNMOBIL

2.1 Analyse des profils

Historiquement, BERNMOBIL utilise uniquement un fichier Excel qui recense les diamètres mesurés lors des reprofilages (tous les 80'000 km puis 60'000 km). À partir de 2013, 8 véhicules sont mesurés tous les deux mois à l'aide d'un appareil de mesure optique manuel (OPTIMESS) de l'entreprise Dr. D. Wehrhahn. La mesure d'un véhicule demandait entre 4 et 5 heures de travail. Les données sont entrées à la main dans un tableur afin de faire des prévisions d'usure du diamètre. Les 28 autres véhicules sont suivis comme avant.



Figure 1 Installation de mesure des profils de roue de TALGO. [1]

En 2014, une installation de mesure fixe Talgo est installée (Figure 1). Les données sont transmises à SAP et sont affichées sur l'interface web *Cockpit* développé par BERNMOBIL. Les alertes sont présentées avec la possibilité de les filtrer selon le véhicule et une plage de temps (Figure 2). Il est aussi possible de suivre l'évolution des grandeurs sécuritaires en fonction de la distance parcourue. Des valeurs d'alertes sont aussi définies pour le taux d'usure.

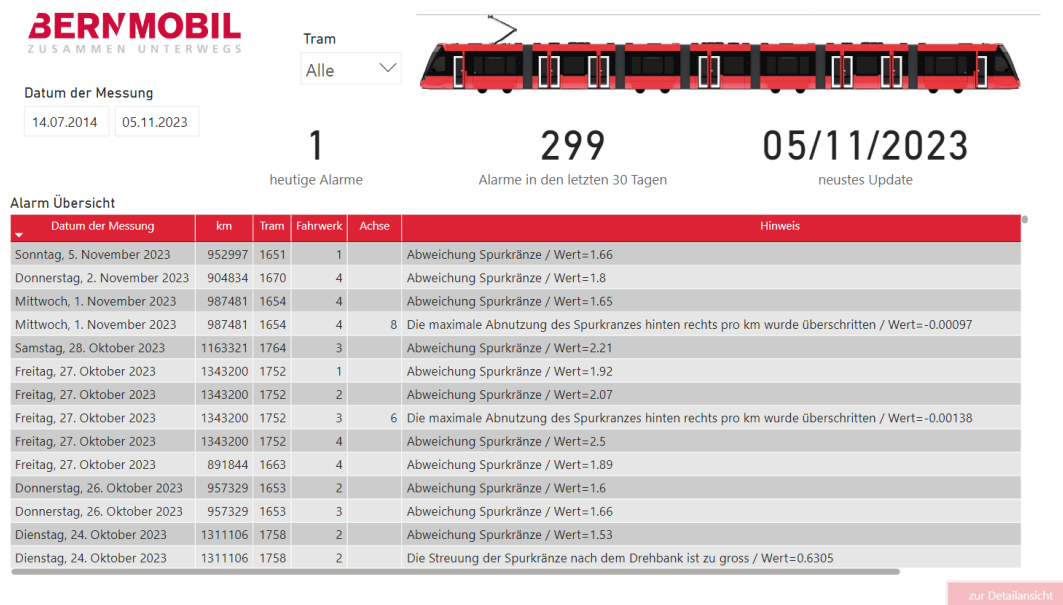


Figure 2 Interface de lecture des données. Présentation des alarmes et alertes

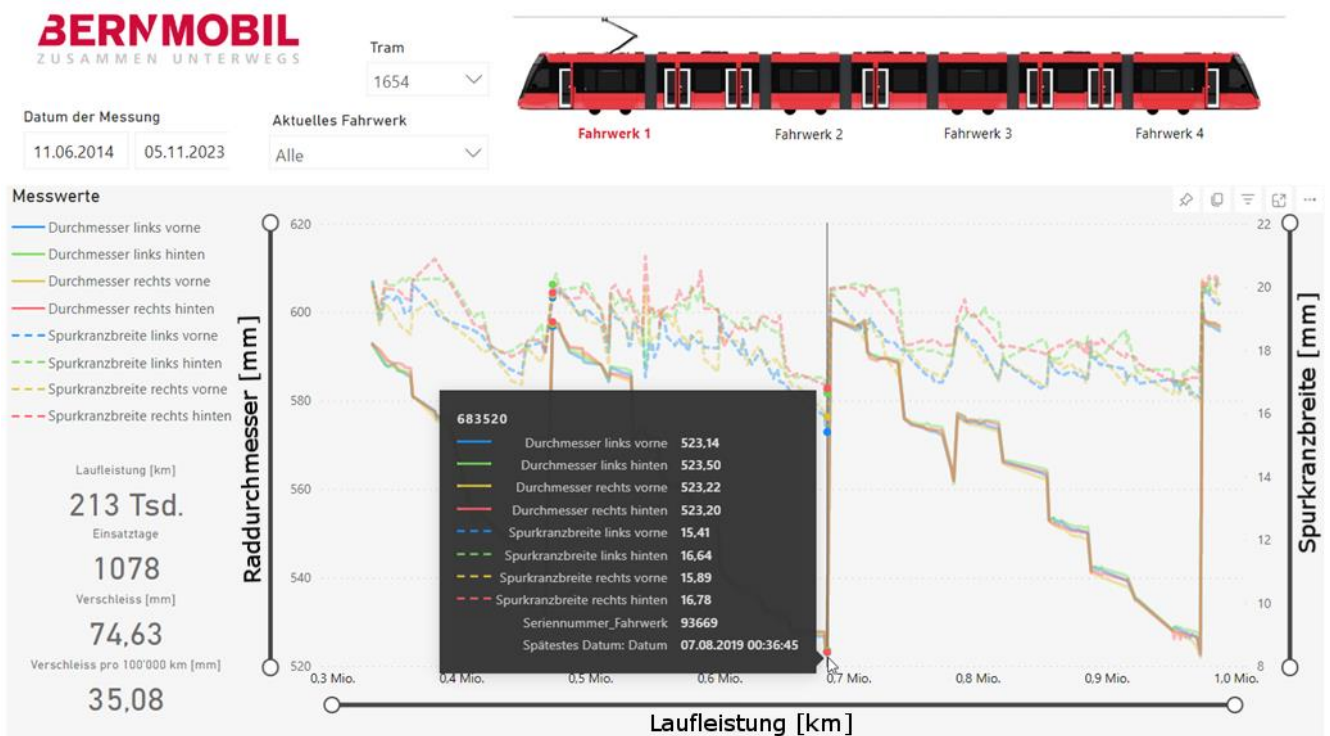


Figure 3 Interface de BERNMOBIL pour l'analyse de l'usure des roues. Diamètre des roues (trait plein ; axe de gauche) et épaisseur des boudins (traitillé ; axe de droite) en fonction de la distance parcourue par le véhicule. Lors des reprofilages, le diamètre diminue brusquement et l'épaisseur des boudins devient identique pour toutes les roues. Une hausse du diamètre correspond à un remplacement de l'essieu.

L'interface Cockpit permet aussi l'évaluation de l'évolution des paramètres en fonction de la distance parcourue par le véhicule (Figure 3). Ces informations permettent de planifier les reprofilages et remplacements de roues de manière plus appropriée mais aussi de détecter rapidement l'usure si elle excède une valeur acceptable.

2.2 Analyse des dommages

Les dommages sont détectés lors d'un contrôle hebdomadaire acoustique. Un employé de l'atelier écoute le passage de tous les tramways à un point du réseau où toutes les lignes se rejoignent. L'infrastructure (système Edilon) y est très bonne et toute la flotte y circule dans les deux sens durant cette période. Occasionnellement, un défaut est annoncé par le personnel de conduite ou une personne attentive se déplaçant à pied. Les sons détectés sont des bourdonnements, des bruits d'impact et d'autres anomalies. Cette manière de faire a été mise en place en 2015. BERNMOBIL a une très bonne expérience avec ce système. L'analyse des dommages se base sur l'expérience.

3 MOB

3.1 Analyse des profils

3.1.1 Processus

Le schéma général de l'analyse de l'usure et des dommages aux roues est présenté sur la Figure 4. L'objectif principal est la maintenance préventive ainsi que la recherche des causes lors de situation d'usure extraordinaire. Aujourd'hui, A.U.R.A. Wheel n'est plus utilisé, toute l'analyse passe par Excel. En fonction des mesures et des observations, le plan de maintenance peut être modifié, par exemple en augmentant ou réduisant la fréquence des contrôles.

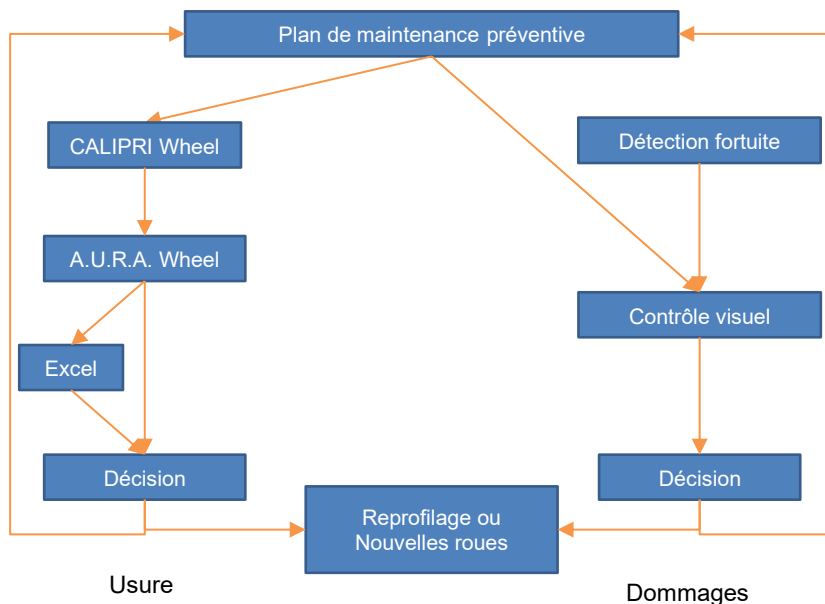


Figure 4 Schéma d'analyse de l'usure (partie gauche) et des dommages aux roues (partie droite) du MOB en 2013.

Les mesures de profils des roues sont effectuées selon les intervalles suivants :

- Automotrices : une fois par mois
- Véhicules moteurs : tous les trois mois
- Voitures : tous les six mois
- Voitures GPX : une fois par mois

La fréquence de mesure est régulièrement réévaluée en fonction de l'usure. Par exemple, lors d'un épisode de forte usure des boudins, le nombre de mesures des profils est fortement augmenté afin de suivre l'évolution de près. À l'inverse, lorsque le problème est résolu, la fréquence est abaissée.

3.1.2 Mesures avec CALIPRI

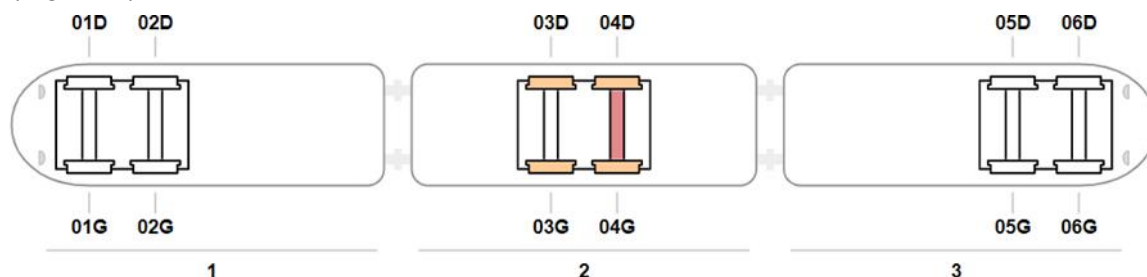
CALIPRI Wheel mesure les profils des roues optiquement. Il mesure et calcule les grandeurs suivantes : épaisseur (S_d) et hauteur du boudin (S_h), q_R , creux, écrasement (a), diamètre de la roue (D), cote de guidage (L) et écartement des faces actives (S) et des faces internes (A_R) des roues. Pour chaque paramètre, deux niveaux d'alarme sont fixés. Si le premier niveau est atteint, un reprofilage ou un remplacement des roues ou des bandages est planifié. Si le second est dépassé, la situation est évaluée et des mesures urgentes sont mises en place, allant jusqu'à la mise hors service du véhicule. Une fois la mesure terminée, les grandeurs et les profils mesurés sont transmis pour analyse.

3.1.3 Évaluation à l'aide d'A.U.R.A. Wheel

Jusqu'à la fin de l'année 2023, le MOB utilisait A.U.R.A. Wheel pour l'analyse des données. Le système est abandonné à la suite d'un remplacement de système de la part du fournisseur impliquant une hausse considérable du prix. L'analyse est effectuée maintenant à l'aide de tableurs Excel.

MOB

A.U.R.A. Wheel était un logiciel de gestion et d'analyse des données de mesure des roues et essieux. Il permettait le suivi des bogies, essieux et roues sur les véhicules ainsi que les reprofilages et remplacements de roues et de bandages. Il présentait les mesures CALIPRI (profils et paramètres roues et essieux) ainsi que l'évolution des paramètres. Le programme était accessible depuis une page web (Figure 5).



Axe	Gauche							Droite						
	Epaisseur du boudin (mm)	Hauteur boudin (mm)	QR (mm)	Creux (mm)	Rollover (mm)	Diamètre (mm)	Info	Epaisseur du boudin (mm)	Hauteur boudin (mm)	QR (mm)	Creux (mm)	Rollover (mm)	Diamètre (mm)	Info
01	26,95	29,50	7,29	0,00	0,00	683,70	⚡	26,36	29,45	6,18	0,00	0,00	683,30	⚡
02	26,90	29,33	7,18	0,00	0,00	683,81	⚡	25,86	29,25	5,91	0,00	0,00	683,48	⚡
03	26,92	29,52	6,77	0,00	0,31	776,92	⚡	25,85	29,45	6,01	0,00	0,24	777,18	⚡
04	26,01	29,58	5,84	0,00	0,29	778,41	⚡	26,83	29,46	7,00	0,00	0,59	777,17	⚡
05	27,15	29,40	6,99	0,00	0,00	683,39	⚡	26,38	29,48	6,68	0,00	0,00	683,61	⚡
06	27,13	29,41	7,26	0,00	0,00	683,21	⚡	26,49	29,28	6,57	0,00	0,00	683,94	⚡

Figure 5 A.U.R.A. Wheel (utilisé par le MOB jusqu'en 2013). Toutes les grandeurs du profil sont présentées pour un véhicule. Si une valeur dépasse le niveau d'alarme, respectivement d'erreur, la ligne est affichée en orange, respectivement en rouge. Dans cet exemple, les diamètres des roues des essieux 3 et 4 sont plus petit que le diamètre d'alerte. La grandeur concernée est affichée en caractères gras. Ces alertes sont utilisées pour la planification de l'entretien.

Les fonctions de prédictions étaient utilisées uniquement pour l'usure au diamètre par le MOB. Il utilisait aussi A.U.R.A. Trace, du même fournisseur, pour le suivi des bogies, essieux et roues (position de montage et traçabilité). La nouvelle GMAO (gestion de maintenance assistée par ordinateur) rend cet outil inutile.

A.U.R.A. Wheel calculait la conicité équivalente et la fonction Δr avec le profil nominal de la voie, ainsi que la cote de guidage (L), les différences de diamètres sur les roues d'un essieu et d'un bogie. Finalement, le programme simulait la perte sur le tour lors d'un reprofilage (Figure 6) permettant de choisir entre le profil nominal ou un profil avec un boudin plus étroit en cas d'usure de celui-ci.

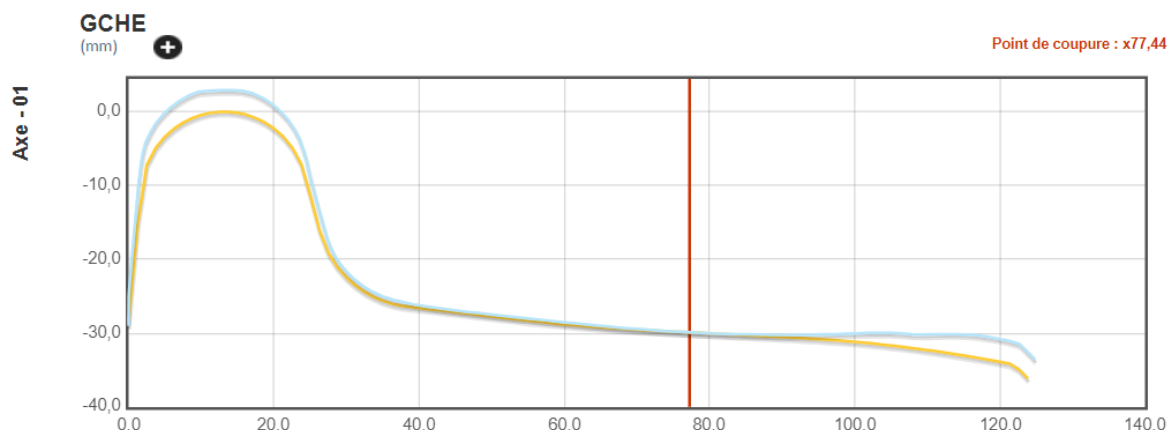


Figure 6 Analyse par le programme A.U.R.A. Wheel. En bleu, le profil mesuré ; en jaune, le profil nominal correspondant à un reprofilage idéal. La ligne rouge est au point de contact entre ces deux profils. Cela correspond au point du profil où l'usure

est la plus forte depuis le dernier reprofilage. En cas d'usure du boudin, la ligne rouge se situe sur le flanc du boudin. Cela permet de déterminer rapidement quelle est l'usure principale (sur la bande de roulement ou sur le flanc du boudin).

Suite à l'abandon d'A.U.R.A. Wheel par le MOB, d'autres outils sont mis en place. À terme, les analyses nécessaires à la planification seront reprises dans la GMAO. Actuellement, les fichiers d'export CALIPRI sont envoyés par mail et enregistrés dans un dossier. Cette opération devrait être automatisée à l'avenir. Tous les tableurs utilisent les fichiers des mesures.

3.1.4 Évaluation à l'aide d'Excel

Un tableur Excel est utilisé pour analyser l'usure au diamètre et planifier les reprofilages et remplacements de roues/bandages. Il permet d'analyser les taux d'usure et de faire une statistique de l'usure. Une estimation du nombre de kilomètres restants avant d'atteindre le diamètre minimal ou la hauteur de boudin maximale est calculée (Figure 7).

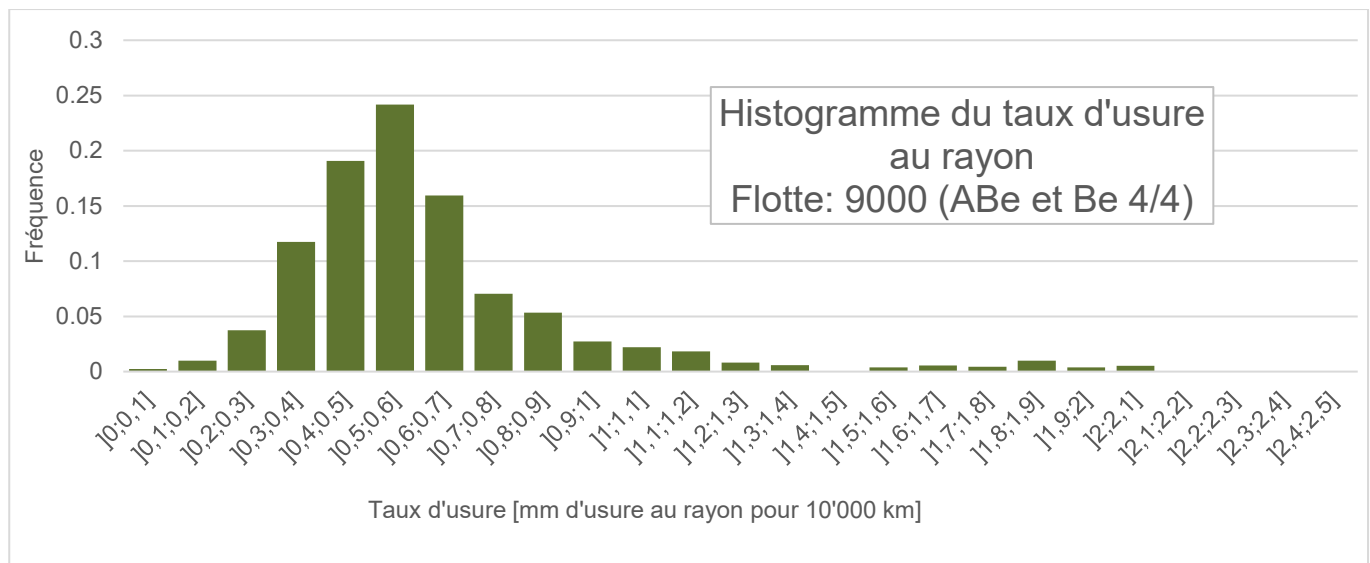


Figure 7 Histogramme du taux d'usure au rayon (en mm d'usure au rayon pour 10'000km) pour les véhicule de la série 9000 (ABe et Be 4/4). L'ordonnée décrit la fréquence d'occurrence de l'usure. Dans un quart des cas, l'usure se situe entre 0,5 et 0,6 mm/10'000 km.

Le deuxième tableur présente une analyse graphique de l'évolution des paramètres suivants pour chaque véhicule (Figure 8) :

- Épaisseur du boudin (S_d)
- Hauteur du boudin (S_h)
- q_R
- Creux
- Déport du matériau (saillie ; a)
- Largeur de la jante (b)
- Diamètre (D)
- Écartement des faces internes (A_R) et actives (S)
- Cotes de guidage gauche et droite (L)
- Différence de diamètre gauche-droite pour un essieu.

MOB

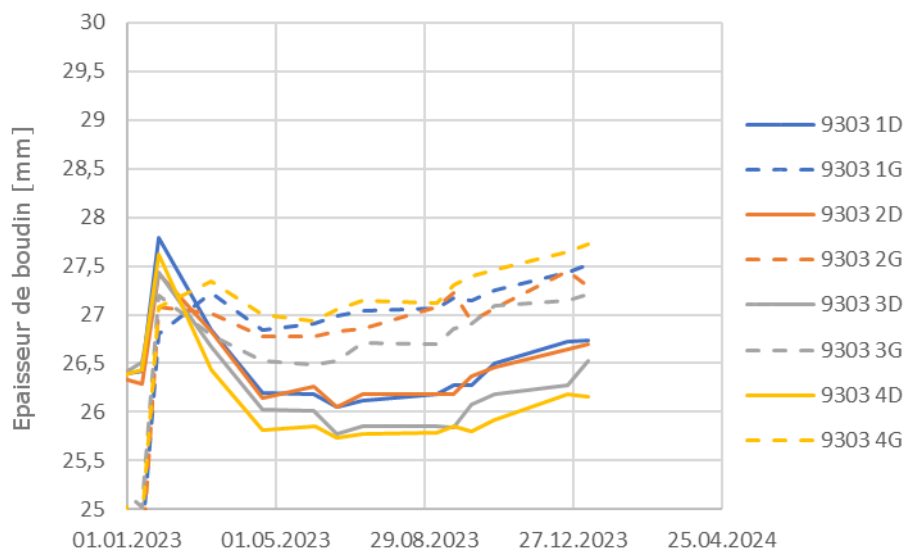


Figure 8 Évolution de l'épaisseur de boudin du véhicule 9303 sur Excel. Le 17.01.2023 a lieu un reprofilage. L'épaisseur des boudins des roues droites a baissé fortement jusqu'en avril 2023. Ensuite, l'épaisseur augmente sur toutes les roues.

Il est aussi possible de comparer ces valeurs pour plusieurs véhicules. Pour une partie de la flotte, il est possible de comparer l'usure et la ligne sur laquelle le véhicule a roulé en important les données des rotations (Figure 9).

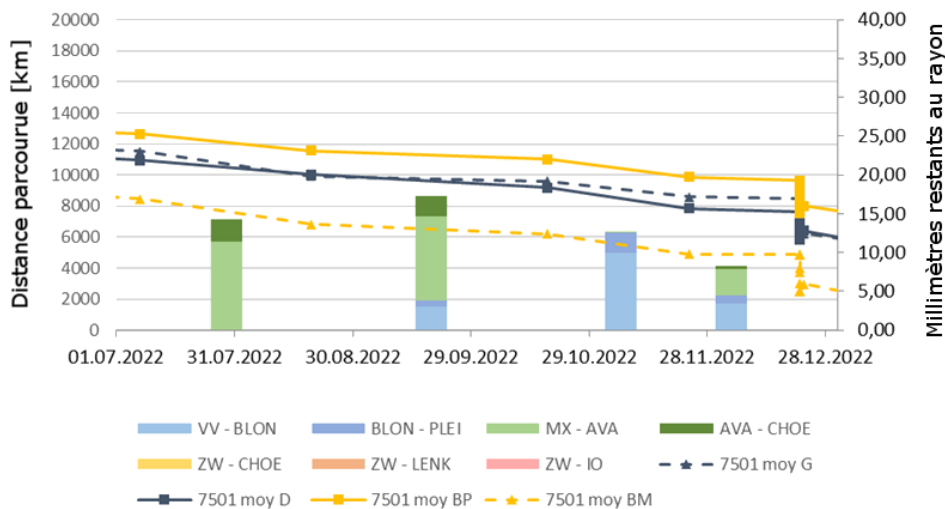


Figure 9 Comparaison des diamètres d'une GTW (véhicule 7501) et des lignes sur lesquelles le véhicule a circulé. Axe gauche : distance en km parcourue entre deux mesures des profils sur chaque ligne (colonnes). Axe droit : millimètres restants au rayon (lignes). Les couleurs des colonnes décrivent les sections des lignes parcourues. Moy : moyenne des roues. BM : bogie moteur. BP : bogie porteur. G : gauche. D : droite.

3.1.5 Cas particulier du GoldenPass Express

Comme le GPX circule aussi bien sur le réseau à voie normale et métrique grâce aux bogies à écartement variable, les mesures doivent être effectuées les RTE des voies métrique (RTE 29500) et

normale (RTE 29000). Un tableur permet, à partir d'un nuage de points, de mesurer le qR, l'épaisseur et la hauteur de boudin pour chacune des RTE (Figure 10) ainsi que d'afficher leur évolution.

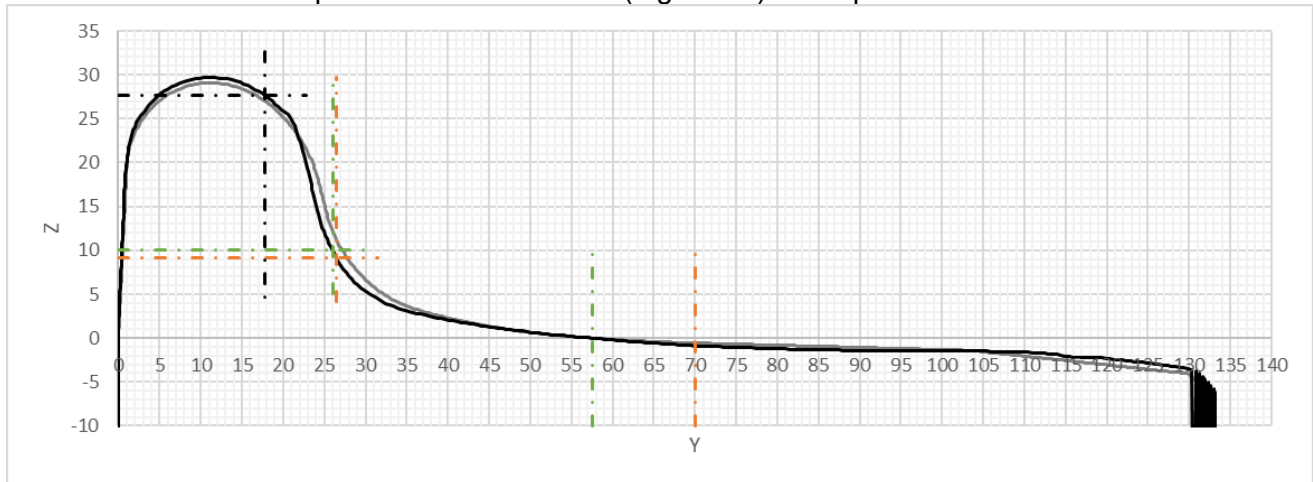


Figure 10 Mesure de l'épaisseur et la hauteur de boudin et qR selon les voies métrique (vert) et normale (orange) (cercle de roulement à 57, respectivement 70 mm, du dos de la roue).

3.1.6 Caractéristiques du creux

Malgré un creux, mesuré selon la RTE 29500 (essieu type A) à une distance de 57 mm du dos de la roue, à zéro, des dommages ont été découverts sur des aiguillages (patte de lièvre). Après une analyse plus approfondie, l'usure maximale ne se produit pas dans le plan du cercle de mesure à 57 mm, mais à environ 97 mm, donc plus loin sur le côté extérieur de la roue (Figure 11). Si le creux n'est pas déterminé sur le cercle de mesure, mais comme valeur maximale sur l'ensemble de la surface de roulement, cela donne des valeurs de l'ordre de plusieurs dixième, bien qu'aucun creux ne puisse être déterminé au niveau du cercle de mesure. Le MOB s'est fixé une valeur limite de 0,7 mm afin de minimiser les dommages dans les appareils de voie.

Les CFF ont également introduit il y a quelques années cette autre méthode de détermination du creux (valeur maximale sur toute la surface de roulement) et l'ont rendue disponible pour tous les chemins de fer par une adaptation du CALIPRI.

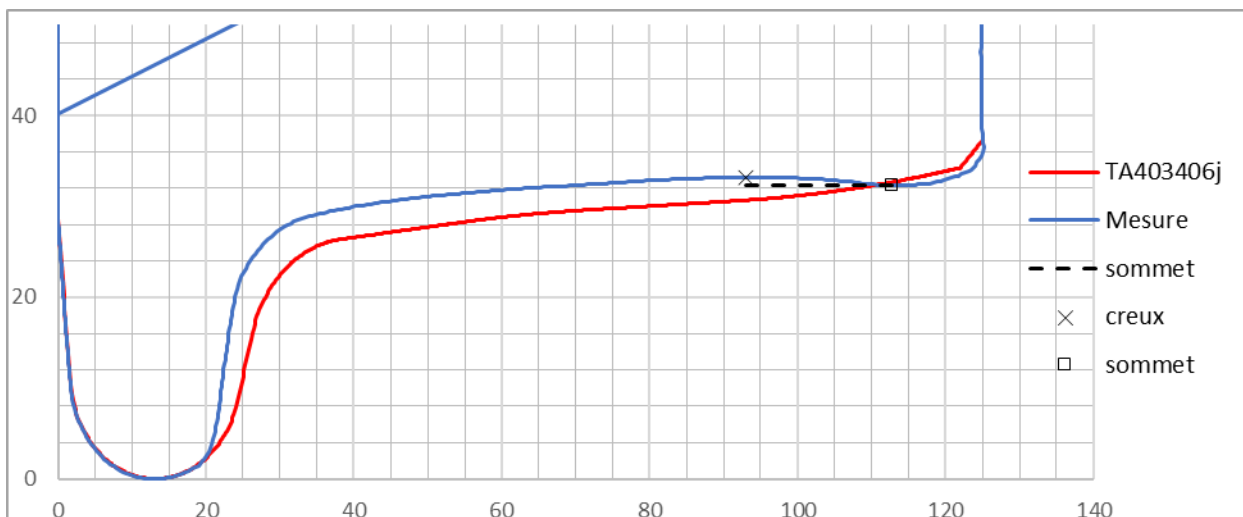


Figure 11 Mesure du creux réel. En bleu, le profil mesuré d'une roue ; en rouge, le profil nominal. La croix correspond au creux sur la bande de roulement. Le carré correspond au maximum local. Dans ce cas, la différence entre les deux points, c'est-à-dire le creux réel, est de 0,9 mm. Bien que, selon la RTE, il n'y a pas de creux si la mesure est effectuée à 57 mm du dos de la roue.

3.2 Analyse des dommages

Lors des mesures du profil des roues, la partie visible de la roue est nettoyée et inspectée visuellement pour vérifier l'état de surface et détecter d'éventuels dommages. Le personnel roulant signale aussi les cas de défauts de circularité, par exemple méplats.

Les dommages sont analysés par des spécialistes qui décident d'un reprofilage et une potentielle mise hors service. Cette évaluation se base sur l'expérience, ainsi que les RTE de maintenance des essieux R RTE 41500 (voie métrique) et R RTE 41000 (voie normale). Cette dernière est également utilisée pour l'évaluation des dommages sur les voies à écartement métrique, car elle est plus complète que celle pour les voies à écartement métrique.

4 RBS

4.1 Analyse des profils

4.1.1 Processus

Dans le cas du RBS, les essieux sont contrôlés périodiquement quant aux dommages et à l'usure. Les contrôles relatifs à l'usure sont décrits dans un document spécifique "RIL_Radsatz-Geometriekontrolle" (Directive Contrôle de la géométrie des essieux). En principe, les valeurs limites s'appliquent de manière analogue à la RTE 29500, essieux de type B. Les mesures sont effectuées pendant l'entretien planifié au moyen d'un appareil CALIPRI. Les valeurs de l'écartement des faces internes sont mesurées sur le tour en fosse ou avec un pied à coulisse en fosse.

Si un collaborateur constate qu'une valeur d'alarme est atteinte pour un essieu, il en informe son supérieur. Celui-ci déclenche alors les étapes suivantes, comme une R0 ou des contrôles supplémentaires. L'objectif est de disposer de suffisamment de temps jusqu'à ce que les valeurs limites soient atteintes pour pouvoir planifier la suite des opérations et ne pas devoir immobiliser immédiatement des véhicules entiers.

Pour l'évaluation de l'usure, un fichier Excel a été développé au cours des dernières années, permettant d'observer l'usure et son évolution. Les données saisies permettent de faire des prévisions sur les diamètres attendus pour la R0. Les données sont collectées pendant le contrôle régulier, le collaborateur du dépôt enregistre en outre un fichier *V2.xml qui est ensuite intégré par le bureau technique dans le fichier Excel du véhicule concerné. Cette procédure est répétée tous les 2 mois ou 20'000 km environ. Cet intervalle est plus que suffisant pour observer l'usure normale. Si des événements particuliers se produisent, par exemple une usure catastrophique des boudins à la suite d'un manque de lubrification, des données supplémentaires sont collectées et importées sur demande. Avec cette évaluation, il est très difficile de reconnaître de tels événements. Pour cela, on dépend toujours des indications des conducteurs de locomotive ou d'autres collaborateurs.

Les intervalles des R0 ont été choisis par expérience en fonction de la flotte et des variantes de bogies. Ainsi, les bogies moteurs de RBS sont soumis à une R0 tous les 160'000 km. Les bogies porteurs sont normalement révisés tous les 230'000 km. Avec ces kilométrages, le remplacement des roues des bogies moteurs est planifié lors des intervalles de révision (6 ans). Cela réduit les frais de remplacement des roues entre les intervalles de révision, ceux-ci entraîneraient des dépenses inutilement élevées. Les roues des bogies porteurs sont en général remplacées lors d'une révision sur deux (tous les 12 ans).

4.1.2 Mesure avec CALIPRI

Le RBS dispose actuellement de deux CALIPRI C42. L'un d'entre eux est disponible au dépôt de Worblaufen pour l'entretien des flottes Seconda et Worbla ainsi que pour les véhicules de service. Le deuxième appareil se trouve à Soleure et est utilisé pour le contrôle de la flotte NEXt.

Dans le cadre de l'entretien préventif, les valeurs de la hauteur (Sh) et l'épaisseur du boudin (Sd) et qR sont relevées et consignées (Figure 12). Le programme de mesure est conçu de telle sorte que si une valeur atteint les valeurs d'alarme autorisées selon RTE 29500 (essieu de type B), elle est affichée en orange. Lorsqu'une valeur d'alarme est atteinte, des mesures appropriées sont prises soit directement par le responsable du dépôt, soit en concertation avec le département technique. Il peut s'agir de contrôles avec un intervalle plus rapproché, d'une R0 anticipée ou de nouvelles expertises.

CALIPRI

Personalnummer	2225
Kilometer	948960
Fahrzeugnummer	31

Dimensionen sortiert nach Objekten					
Spurkranzprofil					
		H	qR	Sd	Sh
Radsatz1	Radprofil-1L	0,00	5,37	20,58	28,92
	Radprofil-1R	0,04	3,69	20,54	29,45
Radsatz2	Radprofil-2L	0,00	5,56	20,68	28,77
	Radprofil-2R	0,05	3,89	18,67	29,30
Radsatz3	Radprofil-3L	0,00	5,67	20,87	29,01
	Radprofil-3R	0,24	4,30	19,10	29,77
Radsatz4	Radprofil-4L	0,00	5,52	20,37	29,16
	Radprofil-4R	0,33	4,10	18,97	29,79
Radsatz5	Radprofil-5L	0,00	5,86	20,80	29,29
	Radprofil-5R	0,00	4,58	19,58	29,67
Radsatz6	Radprofil-6L	0,00	5,83	20,74	29,27
	Radprofil-6R	0,10	4,39	19,20	29,65
Radsatz7	Radprofil-7L	0,00	5,87	21,01	29,18
	Radprofil-7R	0,00	4,51	19,54	29,59
Radsatz8	Radprofil-8L	0,00	5,90	20,89	29,42
	Radprofil-8R	0,00	4,44	19,47	29,52
Radsatz9	Radprofil-9L	0,00	5,60	20,74	28,72
	Radprofil-9R	0,23	3,67	18,54	29,42
Radsatz10	Radprofil-10L	0,00	5,74	20,69	28,83
	Radprofil-10R	0,15	3,87	18,73	29,43
Radsatz11	Radprofil-11L	0,00	5,45	20,35	28,77
	Radprofil-11R	0,12	3,78	18,70	29,22
Radsatz12	Radprofil-12L	0,00	5,62	20,48	28,88
	Radprofil-12R	0,19	3,36	18,34	29,65

Tolérance dépassée. Le véhicule doit être immobilisé !

Valeur d'alarme dépassée. L'essieu doit être surveillé !

RABe_21-34, 2022-08-05

Plan from 13.07.2020 09:24 (id: f4c945d9-1345-4811-837b-14c9be4bba9d)

NEXTSENSE

Figure 12 Rapport généré par CALIPRI.

4.1.3 Évaluation à l'aide d'Excel

Les données obtenues par CALIPRI contiennent également un nuage de points des roues des essieux correspondants. Celui-ci est enregistré et traité dans un fichier Excel (Figure 13) spécifique à chaque véhicule. Grâce à ce fichier, il est possible de suivre l'évolution des valeurs S_d , S_h et q_R importantes pour la sécurité.

		1	2	3	4	5	6	7
PersNr		2152	2152	2152	5118	2140	2140	
Km		909591	940495	955310	1025941	1050580	1101979	
Datum		13.06.2022	06.09.2022	11.03.2022	10.07.2023	06.09.2023	28.12.2023	
Sd	Radprofil-1L	21.01	20.98	21.24	21.28	21.33	21.53	
Sd	Radprofil-1R	21.01	20.98	21.24	21.28	21.33	21.53	
Sh	Radprofil-1L	28.08	28.58	28.72	29.42	29.73	30.14	
Sh	Radprofil-1R	28.08	28.58	28.72	29.42	29.73	30.14	
qR	Radprofil-1L	6.08	6.08	6.26	6.38	6.48	6.74	
qR	Radprofil-1R	6.08	6.08	6.26	6.38	6.48	6.74	
H	Radprofil-1L	0	0	0	0	0	0	
H	Radprofil-1R	0	0	0	0	0	0	
Sd	Radprofil-1R	20.84	20.73	20.91	20.9	21.03	20.94	
Sd	Radprofil-1R	20.84	20.73	20.91	20.9	21.03	20.94	
Sh	Radprofil-1R	28.04	28.72	28.83	29.76	29.98	30.6	
Sh	Radprofil-1R	28.04	28.72	28.83	29.76	29.98	30.6	
qR	Radprofil-1R	5.89	6.03	6.15	6.28	6.14	6.14	
qR	Radprofil-1R	5.89	6.03	6.15	6.28	6.14	6.14	
H	Radprofil-1R	0	0	0	0	0.03	0.28	
H	Radprofil-1R	0	0	0	0	0.03	0.28	
Sd	Radprofil-2L	20.76	20.93	20.89	21.17	21.2	21.41	
Sd	Radprofil-2L	20.76	20.93	20.89	21.17	21.2	21.41	
Sh	Radprofil-2L	28.02	28.49	28.6	29.25	29.45	29.8	
Sh	Radprofil-2L	28.02	28.49	28.6	29.25	29.45	29.8	
qR	Radprofil-2L	5.99	6.05	6.09	6.29	6.35	6.5	
qR	Radprofil-2L	5.99	6.05	6.09	6.29	6.35	6.5	

Figure 13 Données de mesures. Le traitement des données fait que chaque ligne est affichée deux fois. Cela n'entraîne aucune conséquence sur l'analyse.

	R0															
	LDG1				LDG2				MDG1				MDG2			
kilometer FZ																
1	0	770	770	0	770	770	0	770	770	0	770	770	0	770	770	770
608558																
654936																
719580	0	733	729	0	738	731			0	735	733	0	732			
780471									0	770	770	0	770	770		
797355												0	762	763	0	730
891125	0	722	720	0	729	719										
907117									0	763	761					
923934															0	720
952315												0	754	757		707
985407																
991897															####	730
1054135									0	755	751				0	720

Kilométrage du véhicule lors de la R0/remplacement de bogie

Kilométrage déjà effectué depuis le dernier reprofilage sur un bogie nouvellement monté

Diamètre de l'essieu 1 lors de la dernière R0

Diamètre de l'essieu 2 du bogie 1 lors de la dernière R0

Figure 14 R0/Remplacements des bogies d'un véhicule donné. Lors d'une R0, le kilométrage du véhicule et les diamètres de chaque essieu sont entrés. En cas d'échange de bogie, si le bogie a circulé depuis la R0 précédente, ce kilométrage est aussi entré.

Pour que le kilométrage par essieu/bogie puisse être calculé correctement, les R0 ainsi que les remplacements de bogies sont consignés dans le fichier (Figure 14). Si le kilométrage est égal à 0, cela signifie qu'une R0 a été effectuée sur l'essieu de ce véhicule. Si un kilométrage est indiqué, il s'agit du kilométrage du bogie correspondant avant qu'il ne soit monté sur ce véhicule. Le diamètre est indiqué par essieu. Étant donné que pour la R0, la différence entre la gauche et la droite ne doit être que de 0,3 mm, cela suffit amplement pour prévoir la R0 suivante.

L'évaluation et la représentation de l'usure sont effectuées par essieu (Figure 15). L'usure est représentée sur toute la largeur de la roue ainsi que sur le diamètre actuel du cercle de roulement (CdR) et sur le diamètre attendu en cas de R0 immédiate. Dans l'évaluation, tous les profils saisis ainsi que le profil de référence sont superposés en un point de référence (ici à 105 mm de la face interne de la roue). Le point de référence peut être modifié. Il doit cependant être choisi de manière qu'il n'y ait pas ou très peu d'usure à l'endroit correspondant et qu'il se trouve dans une partie aussi parallèle que possible à l'axe de l'essieu. C'est dans ces zones que les écarts dus aux précisions de mesure sont les plus faibles.

Il est ainsi possible de calculer la différence entre la R0 et le profil mesuré sur toute la largeur de la roue. Ceci est fait d'une part pour le diamètre du cercle de roulement (53 mm de la face interne de la roue pour les essieux de type B). D'autre part, la différence maximale entre le profil mesuré et le profil nominal est calculée sur l'intervalle entre le sommet du boudin (8 mm de la face interne de la roue) et le chanfrein. Il se situe à environ 110 mm de la face interne de la roue. Cette différence constitue la perte au rayon minimale attendue pour une R0.

Figure 15 Présentation de l'évaluation et des prévisions. Les graphiques sont présentés dans les figures suivantes.

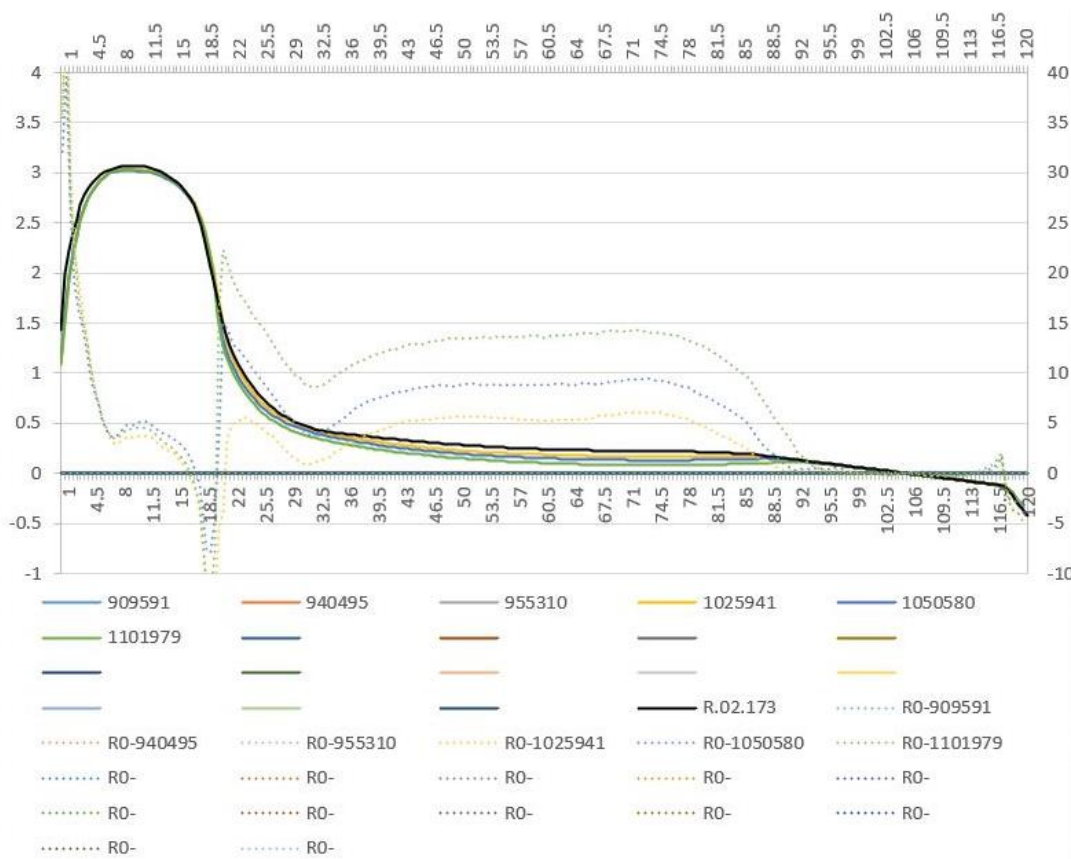


Figure 16 Profils des roues (traits pleins ; échelle de droite) et variation depuis le profil de R0 (pointillés ; échelle de gauche). Une ligne est ajoutée lors de chaque mesure. La légende correspond aux kilomètres du véhicule lors de la mesure du profil.

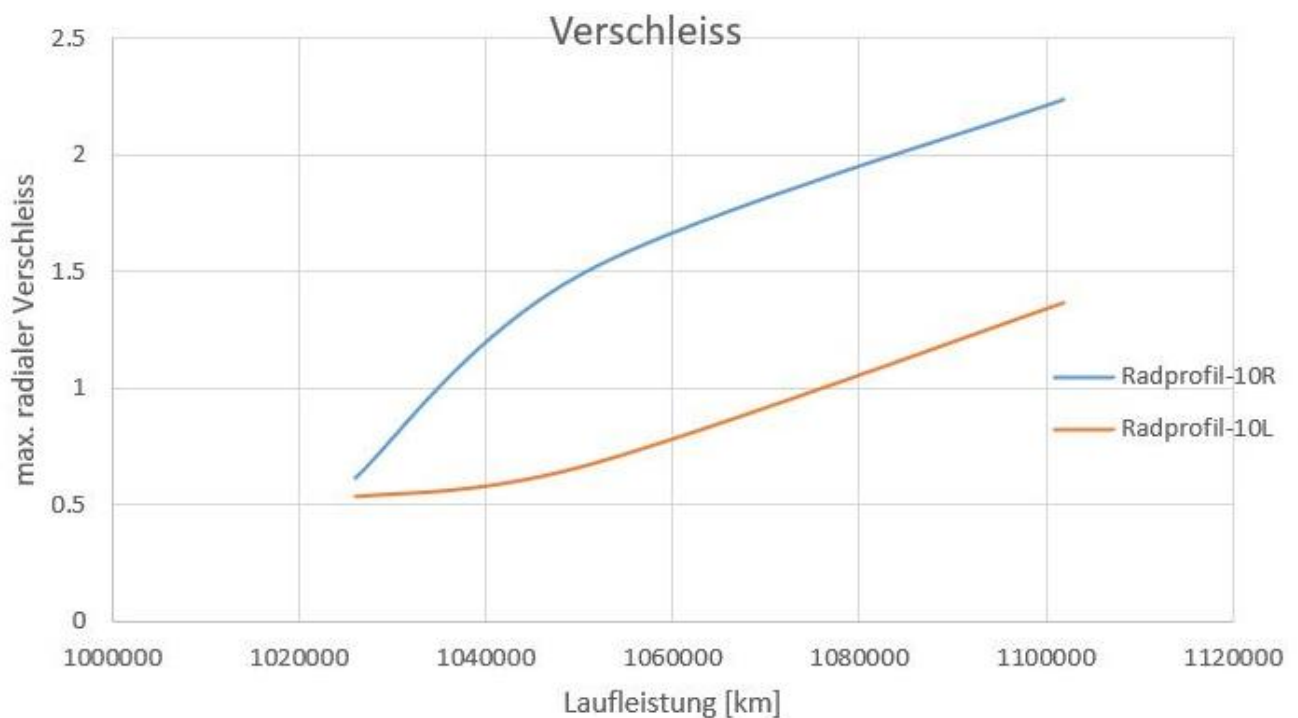


Figure 17 Usure radiale maximale en fonction de la distance parcourue. Bleu : roue droite. Orange : roue gauche. Pour chaque point du profil, l'usure est calculée. Pour chaque mesure, la valeur maximale est indiquée ici. Dans cet exemple, l'usure maximale se situe à environ 20 mm de la face interne de la roue (pics sur les lignes pointillées de la Figure 16). Cela correspond à la perte au rayon entre la dernière R0 et une R0 théorique idéale.

La prévision d'usure minimale pour une dernière R0 a été déterminée à l'aide de valeurs statistiques pour chaque essieu de toutes les flottes et inscrite dans le fichier. Lorsque cette valeur est atteinte, le diamètre attendu pour la R0 est affiché en orange. Dans ce cas, un message est envoyé à l'atelier qui effectue la planification des R0 et des révisions. Ce message indique le kilométrage restant ainsi que le diamètre attendu. Sur la base de la planification des révisions, il est décidé si une R0 doit être avancé ou, le cas échéant, si la planification des révisions doit être adaptée.

4.2 Analyse des dommages

Si, dans le cadre de l'entretien normal, des irrégularités sont constatées lors du contrôle visuel, par exemple une usure excessive de la face interne de la roue ou des traces de torsion sur l'axe de l'essieu par rapport au disque de roue, celles-ci sont signalées au bureau technique du matériel roulant. Celui-ci décide de la marche à suivre à l'aide d'images des dommages. La suite de la procédure est décidée sur la base de l'expérience et des catalogues de dommages de la RTE 41500 (Maintenance des essieux montés pour voie métrique). En fonction des dommages, le département Infrastructure est également informé afin de pouvoir contrôler les éventuelles traces ou dommages sur le réseau.

5 RhB

5.1 Analyse des profils

5.1.1 Processus

Les Chemins de fer rhétiques sont l'un des rares chemins de fer à ne pas utiliser l'appareil de mesure CALIPRI pour la mesure des profils de roues. Les difficultés de la saisie des valeurs de mesure et de l'évaluation qui en découle doivent donc être considérées de manière différenciée en raison de l'utilisation de deux autres appareils de mesure différents.

5.1.2 Mesure à l'aide des installations de mesure fixes

Les RhB disposent de deux installations de mesure des profils des roues en pleine voie. La mesure est effectuée lorsque le train passe au-dessus. Actuellement, ces données sont peu exploitées car la qualité de mesure n'est pas suffisante. Entre deux mesures successives de l'épaisseur des boudins, les écarts entre les deux installations peuvent être supérieurs à un millimètre (Figure 18).

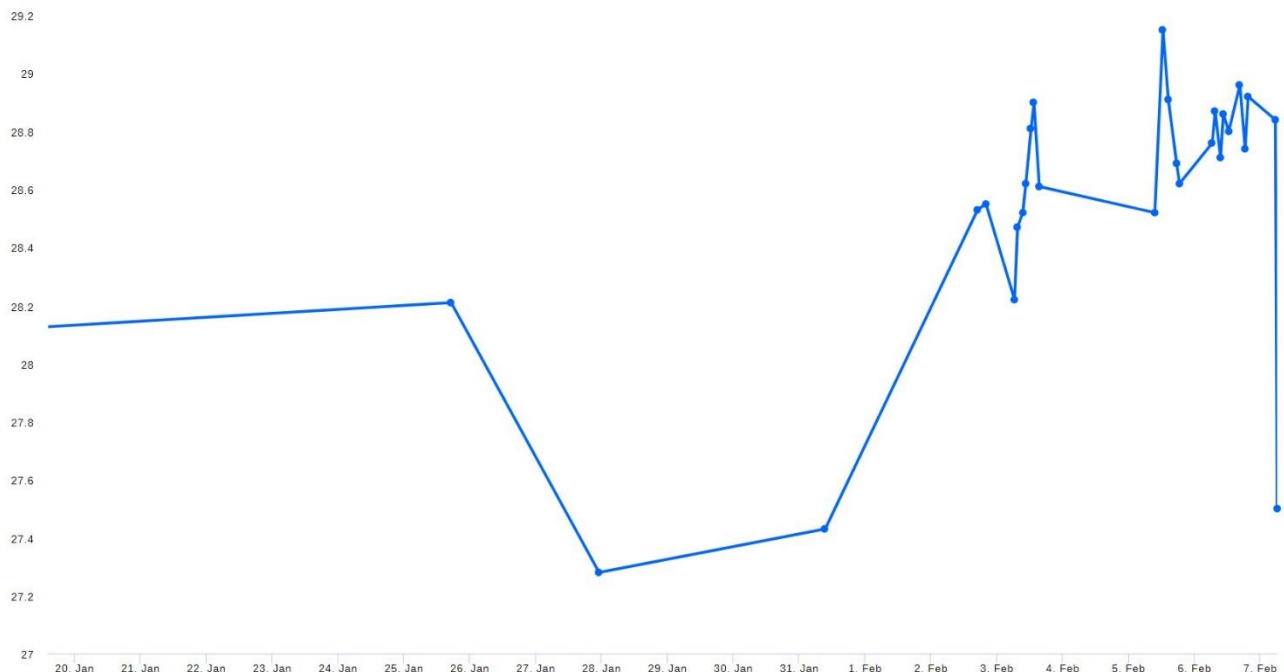


Figure 18 Évolution de l'épaisseur du boudin d'un véhicule avec les deux installations fixes de mesure de profil des RHB.

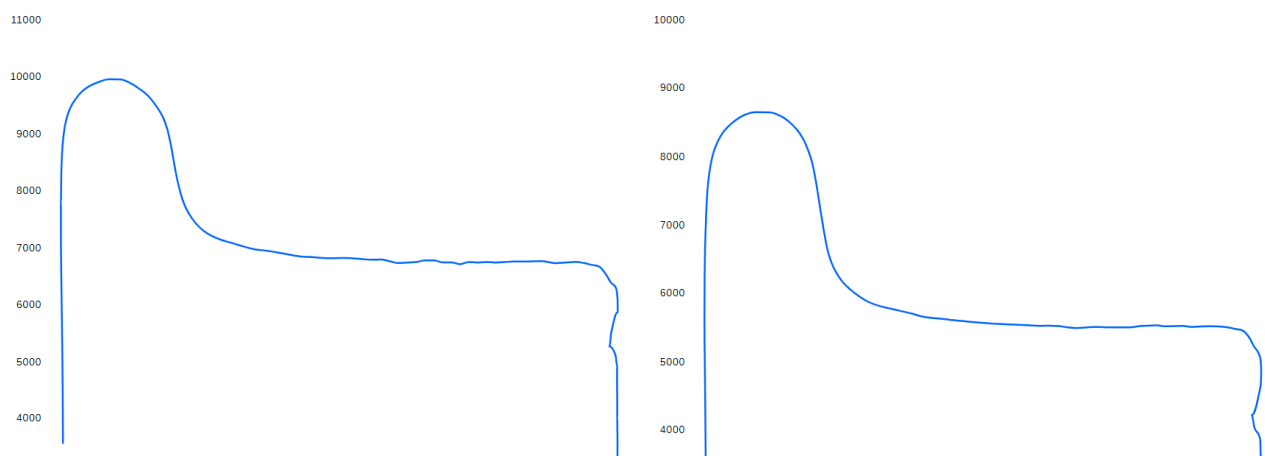


Figure 19 Profils des roues gauche et droite. On voit des imprécisions de mesure sur la bande de roulement.

La cause de ce problème n'est pas complètement connue. L'imprécision des mesures sur la bande de roulement lors des mesures est également considérable (Figure 19).

L'installation au sol reconnaît normalement les véhicules grâce aux balises RFID placées sous les caisses. Si le train est trop long, l'installation n'arrive pas à reconnaître tous les essieux et enregistrer les données. La mesure comporte alors une erreur et les données de tout le train sont perdues. Par ailleurs, les balises RFID de certains véhicules sont mal détectées par l'installation de mesure. Ils ne sont donc pas mesurés régulièrement.

À l'avenir, les RhB souhaitent améliorer la qualité des données pour en faciliter l'analyse. Ces données permettraient d'affiner la planification des reprofilages à l'essieu près. Cependant le projet de mise en service des installations est terminé, il y a peu de ressource pour en améliorer le fonctionnement.

Actuellement, aucune donnée de ces installations n'est donc utilisée de manière productive pour des évaluations.

5.1.3 Mesures à l'aide d'OPTIMESS

Seule une flotte de véhicules des RhB, les automotrices RTZ, font l'objet d'une attention renforcée parce qu'ils sont encore sous garantie. Le cahier des charges comporte une condition relative à l'usure au rayon des roues. Ces véhicules sont donc mesurés régulièrement à l'aide d'un appareil optique laser manuel OPTIMESS. Les données sont enregistrées sous forme numérique, avec un nuage de points.

En plus des données du tour en fosse, ces mesures constituent la base de l'évaluation des profils de roues aux RhB.

5.1.4 Évaluation à l'aide d'Excel

Les données de profil, y compris la date et l'heure de la mesure, sont attribuées au véhicule et à l'essieu, mais sans indication du kilométrage du véhicule. Pour remédier à cette lacune, le RhB souhaite les relier à l'avenir à SAP. Actuellement, les kilomètres sont saisis quotidiennement dans SAP, automatiquement ou manuellement.

La personne responsable de la planification de la maintenance dispose également de nombreuses données pour chaque flotte provenant du tour en fosse concernant le reprofilage (avant et après le tournage). Le numéro du véhicule et de l'essieu sont saisis manuellement dans le système du tour en fosse puis les mesures sont directement transmises à SAP. Ainsi, les RhB disposent de données d'usure (mm/10'000 km, ou mm/an) pour pouvoir planifier les reprofilages. La raison du reprofilage est entrée dans le système avec les choix suivants : Usure, fissures, plats, écaillages, cavités, fissures en réseau/« peau de crapaud », défauts de circularité et accident/influence externe. La cause la plus fréquence est l'usure.

Les valeurs spécifiées dans le cahier des charges sont les suivantes :

- Bogies porteurs
 - 130'000 km entre deux reprofilages
 - 1 Mio km pour le remplacement des roues
- Bogies moteurs
 - 110'000 km entre deux reprofilages
 - 800'000 km pour le remplacement des roues

Les roues motrices et porteuses ont toutes 70 mm de réserve d'usure au diamètre.

Les données sont reportées à la main dans un tableur pour un suivi du taux d'usure (Figure 20).

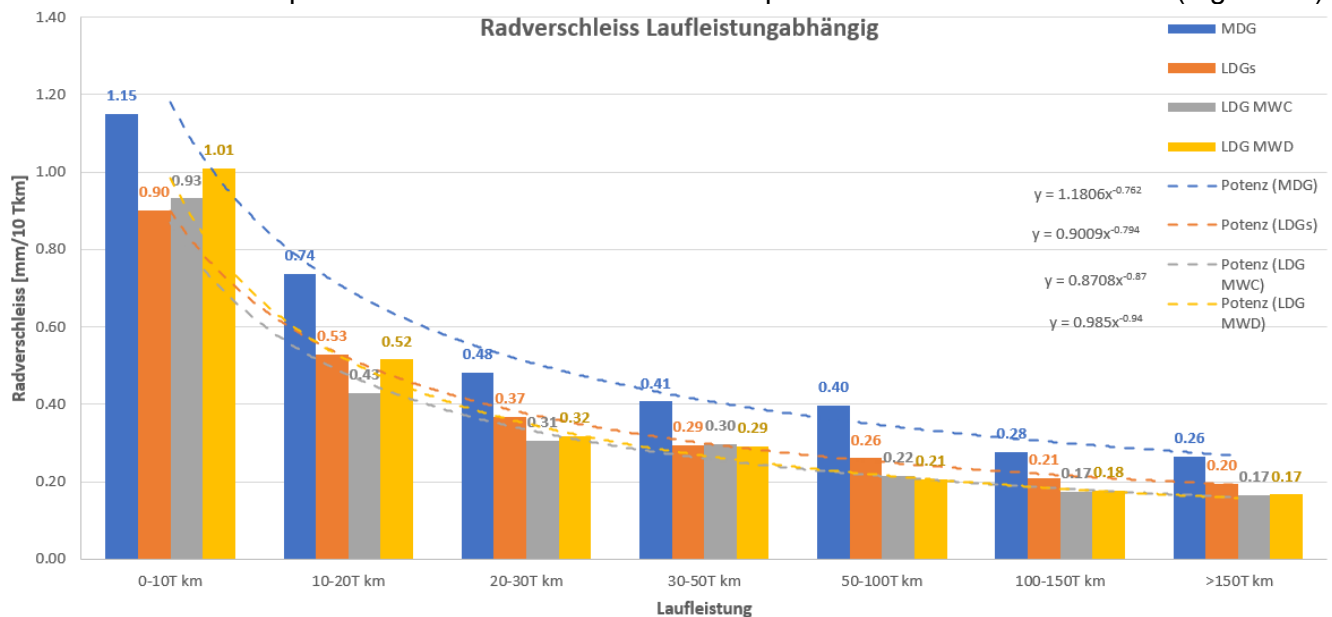


Figure 20 Évolution de l'usure par rapport à la distance parcourue après reprofilage. L'étude est encore en cours. Ces données sont provisoires. Le profil A de la RTE 29500 est utilisé lors des R0. L'usure lors des premiers 10'000km est beaucoup plus forte que par la suite. MDG : bogies moteurs. LDG : bogies porteurs lourd (voitures pilotes sous le poste de conduite). LDG MWC-D : bogies porteurs des voitures intermédiaire C et D.

Pour les véhicules de la flotte RTZ, les roues sont contrôlées dans le cadre des contrôles réguliers C3 (30-45 jours) avec un contrôle visuel et avec des gabarits pour le creux, l'usure du boudin et éventuellement saillie. Les profils et différences de diamètre sont mesurés annuellement pour toutes les flottes. Les profils et les différences de diamètre sont mesurés chaque année sur l'ensemble de la flotte. Les mesures de profils et l'analyse faite ici ont un but de maintenance et pas d'étude de l'interaction véhicule-voie.

5.1.5 Creux

Comme pour le MOB (chapitre 3.1.6), le creux maximal effectif sur la bande de roulement ne se situe pas nécessairement sur le cercle de roulement mais plus proche du bord extérieur (entre 90 et 100 mm du dos de la roue). En revanche, aucun dommage sur les appareils de voie ne sont liés à cette thématique. Cette information est vérifiée sur les lignes de la Bernina et Coire-Arosa. Il n'y a pas d'information pour les autres lignes.

Le creux sur les surfaces de roulement est également contrôlé visuellement, car il ne peut pas être détecté avec la jauge de creux sur les véhicules dont le creux est uniquement vers l'extérieur de la roue.

5.2 Analyse des dommages

Pour tous les véhicules, les roues sont contrôlées visuellement entre une fois par mois et une fois par année suivant les véhicules.

Les mécaniciens de locomotive peuvent aussi faire un ticket (annoncer un défaut) lorsqu'ils remarquent un comportement anormal (comportement particulier du véhicule, méplats, bruit etc.) par exemple due à un défaut de circularité (polygonisation, plats) ou la présence de creux. Les ateliers sont alors avertis d'un défaut. Lors du passage à l'atelier suivant, (lors de l'entretien ou pour un autre travail), l'état des roues est contrôlé visuellement et avec des gabarits. En fonction de l'observation, différentes actions sont mises en place selon l'expérience.

Conclusion

6 Conclusion

L'analyse des données d'usure des roues par les différentes compagnies étudiées ici présente plusieurs similitudes. Tout d'abord, les mesures ont pour objectifs la planification de la maintenance et l'étude de l'usure, en particulier si elle devient excessive. Si chaque compagnie développe sa solution en interne, toutes vont dans la même direction.

Le niveau actuel de l'analyse est très différent, pour les chemins de fer étudiés ici, mais sans doute encore plus si l'on considère tous les chemins de fer métriques suisses. On peut analyser données de la dernière mesure, de l'évolution des grandeurs, le développement du profil, la projection de l'usure...

Pour l'affichage des données aussi la diversité est grande entre la lecture d'un rapport PDF, des graphiques et tableaux dans Excel ou, finalement, une interface sur une page web. Finalement, le degré d'automatisation des mesures et de leur analyse est aussi très différent. Chez BERNMOBIL, la mesure et le transfert des données est complètement automatisé, mais ils n'analysent que quelques grandeurs. Chez les autres, au moins une partie se fait manuellement, la mesure, un transfert de fichier ou des valeurs entrées au clavier. À ce niveau, les besoins de tous les chemins de fer ne sont pas forcément les mêmes. Un processus totalement automatique n'est pas forcément nécessaire pour une petite flotte. À l'exception de RBS, l'analyse porte principalement sur le suivi des grandeurs sécuritaires.

Avant de mettre en place un système d'analyse complet, un point important reste la qualité des données qui n'est pas assuré partout. Les causes peuvent être techniques ou humaines. Certains chemins de fer ne mesurent par exemple pas l'écartement des faces internes permettant le calcul de la cote de guidage pour laquelle il existe des spécifications dans la RTE 29500.

Les exemples montrent des différences parfois très importantes, basées sur l'expérience mais aussi sur l'habitude. Chaque compagnie développe ses propres outils d'analyse et critère d'évaluation. Dans une optique d'uniformisation et d'amélioration de l'analyse, mais aussi de développement d'une meilleure maîtrise du contact entre les roues et les rails par un partage d'expérience et une collectivisation du travail de développement de nouveaux outils d'analyse, le besoin d'une base commune se fait ressentir. Celle-ci devrait permettre l'utilisation de différents outils de mesure répondant aux besoins variés de toutes les compagnies.

7 Tables

7.1 Références

[1] Aufdenblatten, M. (2023, 11 8). Vom Excel zur vollautomatisierten Web Lösung, Radreifen Überwachung, BERNMOBIL.

7.2 Figues

Figure 1 Installation de mesure des profils de roue de TALGO. [1]	6
Figure 2 Interface de lecture des données. Présentation des alarmes et alertes.....	7
Figure 3 Interface de BERNMOBIL pour l'analyse de l'usure des roues. Diamètre des roues (trait plein ; axe de gauche) et épaisseur des boudins (traitillé ; axe de droite) en fonction de la distance parcourue par le véhicule. Lors des reprofilages, le diamètre diminue brusquement et l'épaisseur des boudins devient identique pour toutes les roues. Une hausse du diamètre correspond à un remplacement de l'essieu.....	8
Figure 4 Schéma d'analyse de l'usure (partie gauche) et des dommages aux roues (partie droite) du MOB en 2013.....	9
Figure 5 A.U.R.A. Wheel (utilisé par le MOB jusqu'en 2013). Toutes les grandeurs du profil sont présentées pour un véhicule. Si une valeur dépasse le niveau d'alarme, respectivement d'erreur, la ligne est affichée en orange, respectivement en rouge. Dans cet exemple, les diamètres des roues des essieux 3 et 4 sont plus petit que le diamètre d'alerte. La grandeur concernée est affichée en caractères gras. Ces alertes sont utilisées pour la planification de l'entretien.....	10
Figure 6 Analyse par le programme A.U.R.A. Wheel. En bleu, le profil mesuré ; en jaune, le profil nominal correspondant à un reprofilage idéal. La ligne rouge est au point de contact entre ces deux profils. Cela correspond au point du profil où l'usure est la plus forte depuis le dernier reprofilage. En	

Tables

cas d'usure du boudin, la ligne rouge se situe sur le flanc du boudin. Cela permet de déterminer rapidement quelle est l'usure principale (sur la bande de roulement ou sur le flanc du boudin).....	10
Figure 7 Histogramme du taux d'usure au rayon (en mm d'usure au rayon pour 10'000km) pour les véhicule de la série 9000 (ABe et Be 4/4). L'ordonnée décrit la fréquence d'occurrence de l'usure. Dans un quart des cas, l'usure se situe entre 0,5 et 0,6 mm/10'000 km.	11
Figure 8 Évolution de l'épaisseur de boudin du véhicule 9303 sur Excel. Le 17.01.2023 a lieu un reprofilage. L'épaisseur des boudins des roues droites a baissé fortement jusqu'en avril 2023. Ensuite, l'épaisseur augmente sur toutes les roues.	12
Figure 9 Comparaison des diamètres d'une GTW (véhicule 7501) et des lignes sur lesquelles le véhicule a circulé. Axe gauche : distance en km parcourue entre deux mesures des profils sur chaque ligne (colonnes). Axe droit : millimètres restants au rayon (lignes). Les couleurs des colonnes décrivent les sections des lignes parcourues. Moy : moyenne des roues. BM : bogie moteur. BP : bogie porteur. G : gauche. D : droite.	12
Figure 10 Mesure de l'épaisseur et la hauteur de boudin et qR selon les voies métrique (vert) et normale (orange) (cercle de roulement à 57, respectivement 70 mm, du dos de la roue).	13
Figure 11 Mesure du creux réel. En bleu, le profil mesuré d'une roue ; en rouge, le profil nominal. La croix correspond au creux sur la bande de roulement. Le carré correspond au maximum local. Dans ce cas, la différence entre les deux points, c'est-à-dire le creux réel, est de 0,9 mm. Bien que, selon la RTE, il n'y a pas de creux si la mesure est effectuée à 57 mm du dos de la roue.	13
Figure 12 Rapport généré par CALIPRI.	16
Figure 13 Données de mesures. Le traitement des données fait que chaque ligne est affichée deux fois. Cela n'entraîne aucune conséquence sur l'analyse.	16
Figure 14 R0/Remplacements des bogies d'un véhicule donné. Lors d'une R0, le kilométrage du véhicule et les diamètres de chaque essieu sont entrés. En cas d'échange de bogie, si le bogie a circulé depuis la R0 précédente, ce kilométrage est aussi entré.	17
Figure 15 Présentation de l'évaluation et des prévisions. Les graphiques sont présentés dans les figures suivantes.	18
Figure 16 Profils des roues (traits pleins ; échelle de droite) et variation depuis le profil de R0 (pointillés ; échelle de gauche). Une ligne est ajoutée lors de chaque mesure. La légende correspond aux kilomètres du véhicule lors de la mesure du profil.	19
Figure 17 Usure radiale maximale en fonction de la distance parcourue. Bleu : roue droite. Orange : roue gauche. Pour chaque point du profil, l'usure est calculée. Pour chaque mesure, la valeur maximale est indiquée ici. Dans cet exemple, l'usure maximale se situe à environ 20 mm de la face interne de la roue (pics sur les lignes pointillées de la Figure 16). Cela correspond à la perte au rayon entre la dernière R0 et une R0 théorique idéale.	19
Figure 18 Évolution de l'épaisseur du boudin d'un véhicule avec les deux installations fixes de mesure de profil des RHB.	21
Figure 19 Profils des roues gauche et droite. On voit des imprécisions de mesure sur la bande de roulement.	21
Figure 20 Évolution de l'usure par rapport à la distance parcourue après reprofilage. L'étude est encore en cours. Ces données sont provisoires. Le profil A de la RTE 29500 est utilisé lors des R0. L'usure lors des premiers 10'000km est beaucoup plus forte que par la suite. MDG : bogies moteurs. LDG : bogies porteurs lourd (voitures pilotes sous le poste de conduite). LDG MWC-D : bogies porteurs des voitures intermédiaire C et D.	23