

LO 3.2.1-3

Maîtrise de système : Interaction véhicule/voie ferrée pour la voie métrique
Projet : 3 Bases roue / rail
Module : 3 Mécanique de contact Interaction

Catalogue des dommages Interaction – Zones de contact entre roue et rail



ID :	RAILplusSF-00118	
Date / Statut :	19.03.2026 / Freigegeben	Nombre de pages : 65
Degré de diffusion	Public	
Rédacteurs :	Alessandro Bianchi / Rhätische Bahn AG Lukas Sing / Rhätische Bahn AG	
Vérifié par :	Roland Müller / Gleislauftechnik Müller	
Approuvé par :	Friedrich-Christian Walther / Zentralbahn	

Mode de citation : Alessandro Bianchi, RAILplus/Rhätische Bahn & Roland Müller, Gleislauftechnik Müller : *Catalogue des dommages Interaction – Zones de contact entre roue et rail*. Rapport technique, RAILplusSF-00066, 13.04.2025

Liste des modifications

Version	Date	Responsable	Description
0.1	06.10.2023	Alessandro Bianchi	Première version
0.2	19.12.2024	Alessandro Bianchi	Version révisée
0.3	24.02.2025	Roland Müller	Vérfifié
1.0	13.04.2025	Friedrich-Christian Walther	Finalisation et approbation par le chef de projet

Management Summary

Situation initiale

Jusqu'à présent, aucun document résume de manière claire et codifiées (défauts codés et décrits succinctement) les dommages résultant du contact roue/rail pour les réseaux de chemins de fer à voie métrique. Le présent document servira d'outil de travail aux ingénieurs et spécialistes de l'interaction roue-rail, leur permettant, à l'aide d'illustrations, de comparer et d'évaluer les différents dommages sur les surfaces de roulement et d'en identifier les causes possibles.

Résultats principaux et conclusion

Les défauts et dommages relatifs au contact roue/rail ont déjà été abordés dans de nombreux travaux de recherche, normes et règlements, en particulier dans le domaine de la voie normale. Ce document réunit les différentes informations sur le sujet et renvoie aux différentes sources. Les types de dommages et leurs caractéristiques, issus principalement de la voie normale, ont été repris ici et, le cas échéant, adaptés à la voie métrique.

Le présent catalogue des dommages traite des défauts causés par l'interaction entre la roue et le rail. Sont considérés comme dommages l'usure excessive ainsi que les fissures sur les surfaces de roulement des roues et rails pouvant évoluer avec le temps. Ces dommages ont un impact significatif sur les coûts d'usinage des surfaces de roulement (meulage et fraisage des rails, reprofilage des roues) ainsi que sur la durée de vie des composants. L'usure entre les deux éléments en contact est inévitable. Tant qu'elle reste dans un domaine dit « modéré », ses effets sont acceptables. De nombreux dommages sur les zones de contact sont dus à la fatigue des matériaux, et sont donc attribuables à la mécanique de contact roue/rail, se manifestant sous forme de fissures. Lorsque ces fissures sont évolutives et ne sont pas freinées, elles doivent être détectées et traitées à un stade précoce. Les fissures non évolutives peuvent rester sur les surfaces de roulement.

Contrairement aux fissures causées par la mécanique de contact, les fissures thermiques dues à l'interaction entre le frein à sabot et la roue sont toujours évolutives et entraînent systématiquement une rupture de la roue en phase avancée. Les dommages dus uniquement à la fabrication des roues ou des rails, à une usure excessive (p. ex. usure creuse), aux conditions climatiques (p. ex. corrosion) ou aux opérations de maintenance (p. ex. soudage des rails) ne sont pas pris en compte ici, car leur origine est externe à la mécanique de contact.

Sur la base de la littérature spécialisée, un système de codification des défauts a également été repris, permettant une désignation claire des dommages aux roues (code R-xxxx) et aux rails (code S-xxxx). Cela permet d'uniformiser la terminologie technique dans ce domaine et de faciliter les échanges d'informations et d'expériences dans le cadre des chemins de fer à voie métrique. Le document fournit également des indications sur les liens possibles entre les types de dommages et, par exemple, les caractéristiques de la voie, le comportement de conduite, la qualité des matériaux ou d'autres facteurs. Cela permet de former le personnel et de mettre en œuvre des mesures ciblées pour réduire ces dommages.

Recommandations

Grâce à la collaboration active des chemins de fer à voie métrique, aux retours d'expérience issus de la pratique, et aux exemples concrets (p. ex. descriptions, images), le catalogue évolue et décrit de manière toujours plus précise les dommages dans les zones de contact roue-rail spécifiques à ce domaine d'application. L'implication directe des chemins de fer vise également à renforcer les compétences au sein du secteur. Le présent catalogue des dommages est un document évolutif qui est continuellement mis à jour. Il se concentre volontairement sur les zones de contact direct entre roues et rails. Les autres zones des roues et des rails, dans le contexte des voies métriques, sont traitées dans d'autres documents déjà existants ou en cours d'élaboration.

Contenu

1	Introduction	7
1.1	Problématique	7
1.2	Objectif.....	7
1.3	Délimitation	7
1.4	Méthodologie.....	7
2	Mécanismes de dégradation issus de la mécanique de contact.....	9
2.1	Initiation des fissures.....	10
2.1.1	<i>Apparition de fissures sous la surface</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Apparition de sur la surface.....</i>	<i>12</i>
2.2	Propagation des fissures	12
3	Dommages sur les roues.....	16
3.1	Localisation des dommages dus à la mécanique de contact sur la bande de roulement	16
3.2	Codification des dommages dus à la mécanique de contact sur les bandes de roulement...	19
3.3	Compilation des dommages dus à la mécanique de contact sur la surface de contact de la roue.....	21
3.3.1	<i>Irrégularité de circularité.....</i>	<i>21</i>
3.3.2	<i>Dépôt de matière [Code de défaut : R-1108].....</i>	<i>29</i>
3.3.3	<i>Refoulement de matière/laminage de matière [Code de défaut : R-1109].....</i>	<i>30</i>
3.3.4	<i>Écaillage (Spalling) [Code de défaut : R-1110].....</i>	<i>31</i>
3.3.5	<i>Exfoliation [Code de défaut : R-1111].....</i>	<i>32</i>
3.3.6	<i>Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112]</i>	<i>33</i>
3.3.7	<i>Fissures en réseau [Code de défaut : R-1113].....</i>	<i>34</i>
3.3.8	<i>Head Checks – Fissures dues à la fatigue de contact de roulement (RCF) [Code de défaut : R-1114].....</i>	<i>35</i>
3.3.9	<i>Fissures transversales de la bande de roulement [Code de défaut : R-1115].....</i>	<i>36</i>
3.3.1	<i>Cavités et sillons [Code de défaut : R-1116].....</i>	<i>37</i>
3.3.2	<i>Détérioration du chanfrein [Code de défaut : R-1118].....</i>	<i>38</i>
3.3.3	<i>Cavité/écaillage profond (Shelling) [Code de défaut : R-1119]</i>	<i>39</i>
3.3.4	<i>Séparation du matériau sous la bande de roulement [Code de défaut : R-1201].....</i>	<i>40</i>
3.3.5	<i>Fissure transversale du chanfrein [Code de défaut : R-1208].....</i>	<i>41</i>
3.3.6	<i>Fissures sur le boudin de roue [Code de défaut : R-1210].....</i>	<i>42</i>
3.3.7	<i>Endommagement du sommet du boudin [Code de défaut : R-1211]</i>	<i>43</i>
3.3.8	<i>Boudin avec formation de rebord (écrasement du sommet du boudin) [Code de défaut : R-1212].....</i>	<i>44</i>
3.3.9	<i>Traces de contact radiales et dommages sur la face interne du boudin [Code de défaut : R-1213].....</i>	<i>45</i>
4	Dommages aux rails	46
4.1	Localisation et codification des dommages de contact mécanique sur la surface de roulement du rail	46
4.2	Codification des dommages dû à la mécanique de contact sur la surface de roulement du rail	47
4.3	Compilation des dommages dû à la mécanique de contact sur la surface de roulement des rails	50

4.3.1	<i>Écaillage et exfoliation sur la surface de roulement « Spalling » [Code de défaut S-1211 / S-2211].....</i>	<i>50</i>
4.3.2	<i>Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221]</i>	<i>51</i>
4.3.3	<i>Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223].....</i>	<i>52</i>
4.3.4	<i>Déformation plastique (refoulement de matière – aplatissage – formation de bourrelet) [Code de défaut S-123 / S-223].....</i>	<i>53</i>
4.3.5	<i>Marque de patinage isolé / unique [Code de défaut S-125 / S-2251] ; Marques de patinage multiples [Code de défaut S-2252]</i>	<i>54</i>
4.3.6	<i>Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227].....</i>	<i>55</i>
4.3.7	<i>Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201].....</i>	<i>56</i>
4.3.8	<i>Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202].....</i>	<i>57</i>
4.3.9	<i>Empreintes / Aplatissements [Code de défaut S-301].....</i>	<i>58</i>
4.4	Méthodes d'inspection pour la détection des dommages sur aux rails	59
4.4.1	<i>Contrôle visuel</i>	<i>59</i>
4.4.2	<i>Ultrasons (UT).....</i>	<i>59</i>
4.4.3	<i>Courants de Foucault (ET)</i>	<i>59</i>
5	Attribution des dommages à la surface de contact roue-rail	60
5.1	Dommages dus aux conditions de tracé.....	60
5.2	Dommages dus à l'exploitation des véhicules	61
5.3	Dommages dus aux propriétés des matériaux.....	62
5.4	Dommages dus à d'autres raisons	63
6	Conclusions.....	64
6.1	Résumé des résultats principaux.....	64
6.2	Recommandations	64
7	Annexes	65
7.1	Références.....	65
7.2	Figures.....	65
7.3	Tableaux	65

Liste des abréviations

DE-OCF	Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer
END	Essais non destructifs
ET	Contrôle par courants de Foucault (<i>Eddy-current testing</i>)
ETF	Entreprise de transport ferroviaire
MT	Contrôle par magnétoscopique
R0	Reprofilage des roues
RCF	Fatigue de contact de roulement (<i>Rolling Contact Fatigue</i>)
SPG	Appareil de contrôle des rails (Schienenprüfgerät)
SPZ	Train de contrôle des rails (Schienenprüfzug)
SPZ-ET	Train de contrôle équipé pour le mesures par courants de Foucault
SPZ-UT	Train de contrôle équipé pour l'essai par ultrasons (Schienenprüfzug mit Ausrüstung für Ultraschallprüfung)
UT	Contrôle par ultrasons (<i>Ultrasonic Testing</i>)

1 Introduction

1.1 Problématique

Actuellement, un manque de connaissances spécifiques sur la mécanique de contact entre roue et rail dans les chemins de fer à voie métrique est constaté. Le développement de ce savoir-faire est donc l'un des objectifs clés de la direction technique de RAILplus.

La mécanique de contact, en tant qu'élément essentiel de l'interaction roue/rail, peut être la cause de nombreuses conséquences sur les surfaces de roulement des roues et des rails.

La plupart des dommages causés par la mécanique de contact sont décrits dans des normes, des directives sectorielles, des prescriptions internes et dans des littératures techniques généralisées. Ces références se basent exclusivement sur l'écartement standard de 1435mm. Il existe peu de documents de référence relatifs à la mécanique de contact dans le domaine de la voie étroite (voie métrique ou voie de 1067 mm).

Certains dommages causés par le contact roue/rail sont connus dans les chemins de fer à voie métrique. Cependant, ils sont parfois désignés par des termes différents ou contradictoires. Il est donc nécessaire de créer un document spécifique pour les chemins de fer à voie métrique, accessible à tous et garantissant une terminologie claire et uniforme.

Le présent document a été initialement rédigé en allemand, puis traduit en français et italien.

1.2 Objectif

L'objectif est de rassembler dans un document les dommages causés par la mécanique de contact sur les surfaces de roulement des roues et des rails dans les chemins de fer à voie métrique. Ce document fournira aux spécialistes des essieux un outil permettant, à l'aide de descriptions et d'illustrations, de comparer et d'évaluer les différents dommages observés en exploitation. Cela permettra d'en identifier les causes possibles et de proposer des mesures correctives. Ce catalogue des dommages contribuera également à établir une terminologie technique uniforme pour faciliter les échanges d'informations et d'opinions entre les chemins de fer à voie métrique.

Le document distingue également les dommages dus au tracé, à la conduite des véhicules, aux matériaux utilisés pour les roues et les rails, ou à d'autres facteurs. Ainsi, le personnel pourra être formé de manière ciblée et des mesures spécifiques pourront être mises en œuvre pour réduire ces types de dommages.

1.3 Délimitation

Ce rapport technique traite uniquement des dommages causés par l'interaction entre la roue et le rail. Les dommages dus à la fabrication des roues et des rails, à une usure excessive (par exemple usure creuse), aux influences climatiques (par exemple corrosion) ou aux opérations de maintenance (par exemple soudage ou meulage des rails) ne sont pas pris en compte, car leur origine n'est pas liée à la mécanique de contact roue/rail, mais à des facteurs externes.

Les dommages décrits concernent principalement les zones de contact entre roue et rail en ligne droite, en courbe et lors du franchissement des aiguillages. Les dommages sur le corps de roue ou le disque de roue, ainsi que sur l'âme ou le patin du rail, ne sont pas abordés ici. Ils sont traités dans d'autres documents spécifiques ^{1 2 3}.

1.4 Méthodologie

La première étape consiste à compiler les types de dommages sur les surfaces de roulement des roues et des rails à partir de la littérature, des normes et de documents industriels. Étant donné que la majorité de ces sources proviennent de la voie normale, un document spécifique pour la voie métrique est nécessaire. L'analyse porte sur les éléments transférables depuis la voie normale et ceux qui nécessitent

¹ R RTE 41500: Maintenance des essieux montés pour voie métrique.

² R RTE 41000: Maintenance des essieux montés pour voie normale

³ RAILplus LO P4.2: Catalogue des dommages de la voie ferrée

une adaptation spécifique. Les retours d'expérience des chemins de fer seront intégrés. Des dommages spécifiques à la voie métrique seront ajoutés si nécessaire, tandis que ceux jamais observés seront écartés.

Différentes versions du document verront le jour jusqu'à l'élaboration du catalogue définitif, grâce aux retours des experts externes, des spécialistes de l'infrastructure et du matériel roulant des entreprises ferroviaires, ainsi qu'aux connaissances acquises dans le domaine de l'interaction roue/rail. La Figure 1 illustre la méthodologie adoptée pour l'élaboration de ce document.

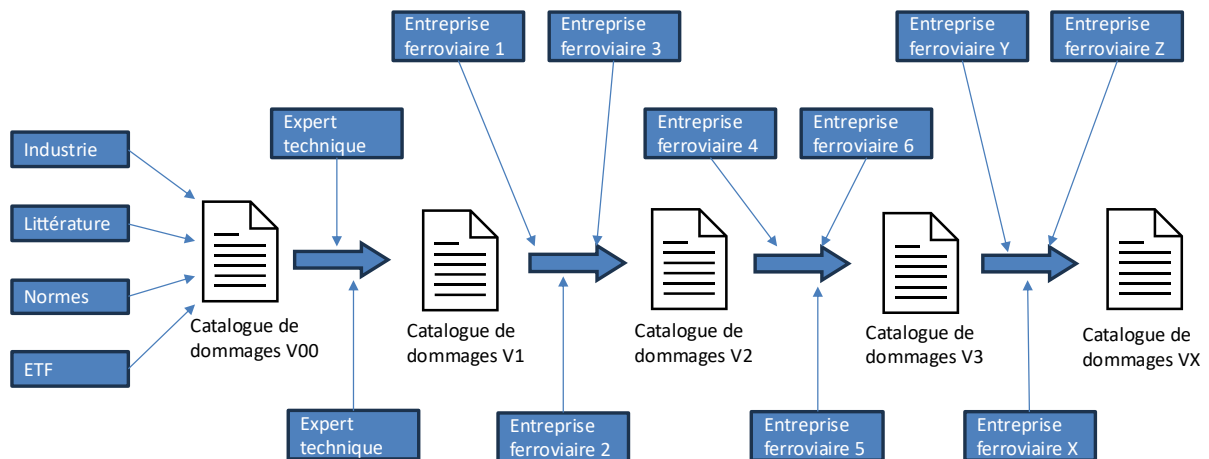


Figure 1: Méthodologie

2 Mécanismes de dégradation issus de la mécanique de contact

Lorsque deux corps entrent en contact sous charge, il ne s'agit pas d'un simple contact ponctuel, mais d'une interpénétration locale entre les deux solides. En raison de la déformation élastique des deux corps (roue et rail), une surface de contact commune se forme entre eux. Les centres des corps sont poussés l'un vers l'autre avec une distance δ , également appelée rapprochement.

Cela s'applique également à l'interaction roue/rail, comme illustré à la Figure 2. La charge verticale (poids du véhicule) provoque la déformation du corps 1 (rail : u_{z2}) et du corps 2 (roue ferroviaire : u_{z1}), ce qui entraîne la formation de la zone de contact et de la zone d'interpénétration commune. La somme $u_z = |u_{z1}| + |u_{z2}|$ est désignée comme la déformation élastique totale.

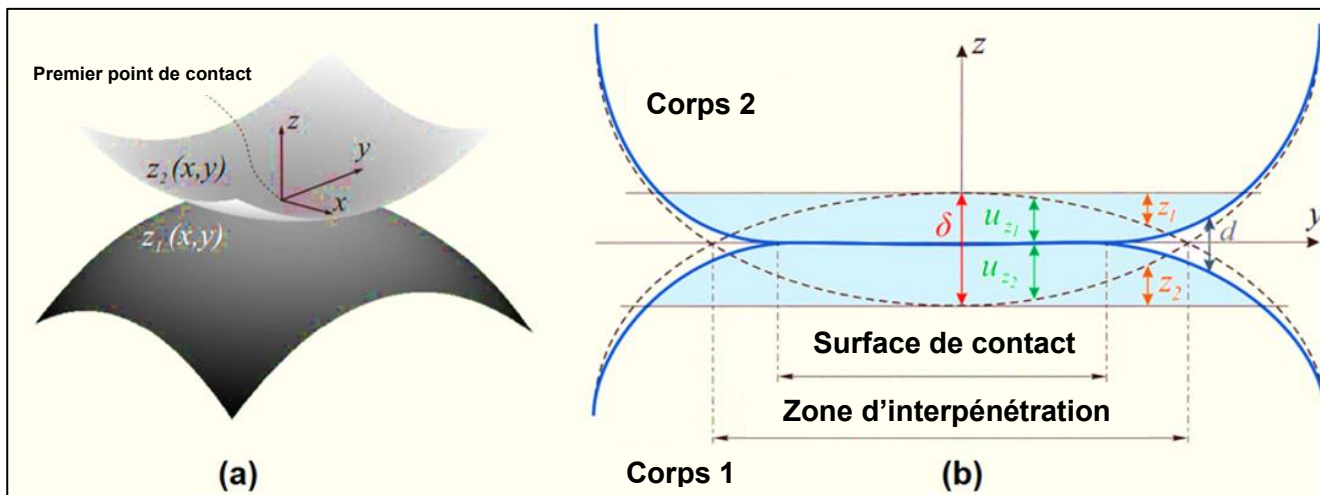


Figure 2: Surface de contact et zone d'interpénétration entre le corps 1 (rail) et le corps 2 (roue)

La surface de contact peut être approximée par une ellipse selon la théorie de Hertz. La Figure 3 compare la surface de contact calculée selon la théorie de Hertz (ellipse virtuelle, en vert) à celle obtenue par la méthode des bandes (en bleu). La zone d'interpénétration est représentée en gris.

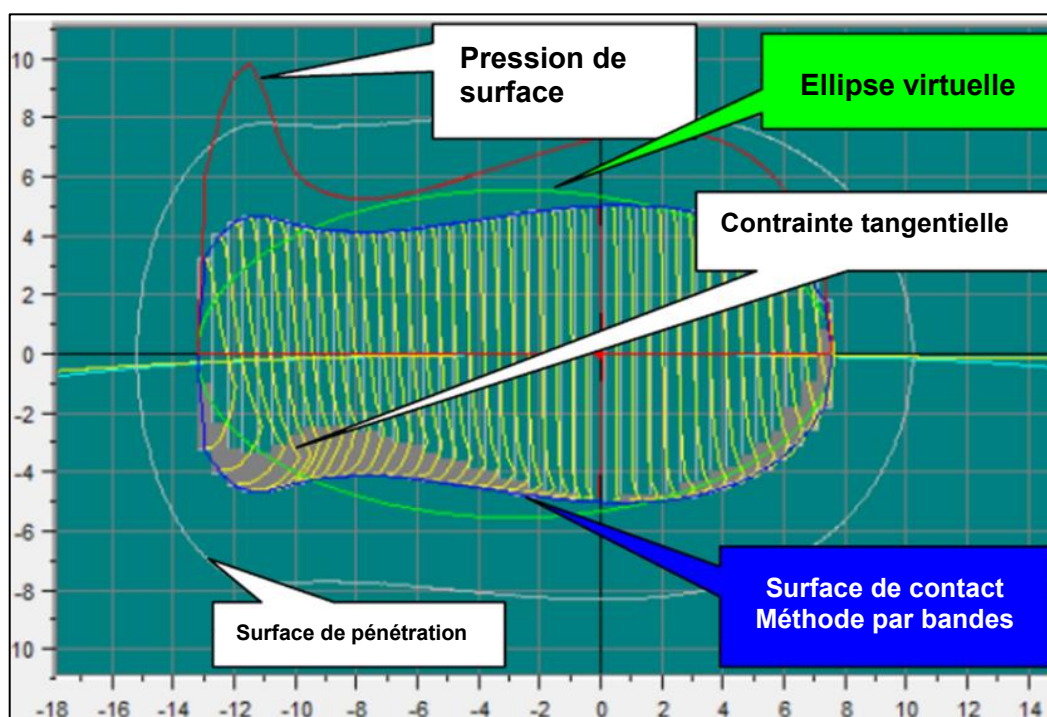


Figure 3: Comparaison entre la surface de contact selon la théorie de Hertz et la surface de contact calculée par la méthode des bandes

C'est précisément dans la surface de contact que s'exercent toutes les forces extérieures, comme illustré dans la Figure 4:

- Force verticale Q due au poids du véhicule
- Force d'adhérence T_1 dans la direction transversale, générée par les courbes serrées
- Force d'adhérence T_2 dans la direction longitudinale, résultant des forces de traction et de freinage, ainsi que de la différence de rayon de roulement entre les deux roues d'un même essieu monté

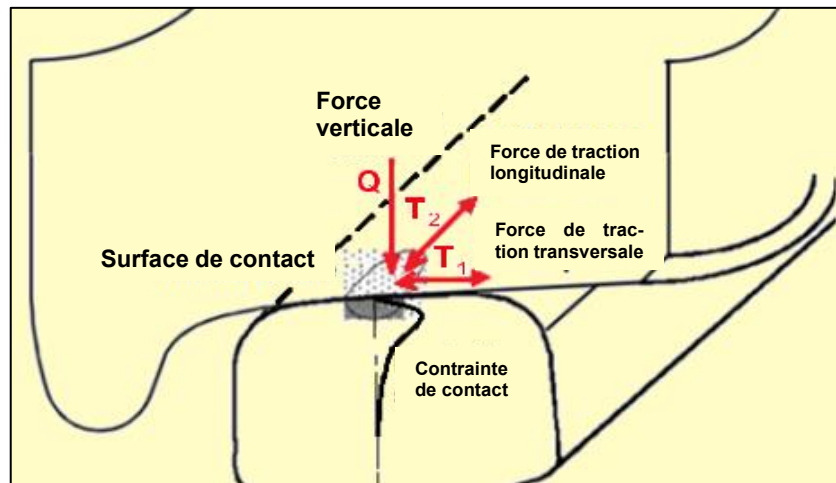


Figure 4: Représentation des forces dans la surface de contact entre la roue et le rail

L'action des forces extérieures sur la surface de contact implique donc des contraintes de contact dans cette zone.

2.1 Initiation des fissures

Selon l'intensité de la résultante de ces forces, des contraintes locales sont générées dans le matériau (roue et rail), pouvant entraîner des déformations élastiques ou plastiques dans la microstructure. À noter que tant que les contraintes locales – plus précisément, la limite d'élasticité ou la limite d'écoulement en cisaillement du matériau – ne sont pas dépassées, la zone de contact se déforme de manière élastique et revient à son état initial une fois la charge retirée.

Si ces contraintes dépassent les valeurs de limite d'élasticité du matériau, la zone de contact subit une déformation plastique, donc irréversible. Ces déformations subsistent en partie même après la suppression de la charge : le matériau reste plastiquement déformé.

La Figure 5 illustre comment la microstructure se déforme sous l'action de forces extérieures dans la zone de contact. La Figure 5 (a) montre une structure non déformée, tandis que les images (b) et (c) présentent une structure progressivement déformée.

Selon la manière dont les structures cristallines se réorganisent, des contraintes résiduelles peuvent subsister dans le matériau. La présence d'inclusions ou de défauts dans la microstructure peut également accroître cet état de contrainte (effet d'entaille).

L'initiation d'une fissure peut se produire soit en surface, soit en sous-surface.

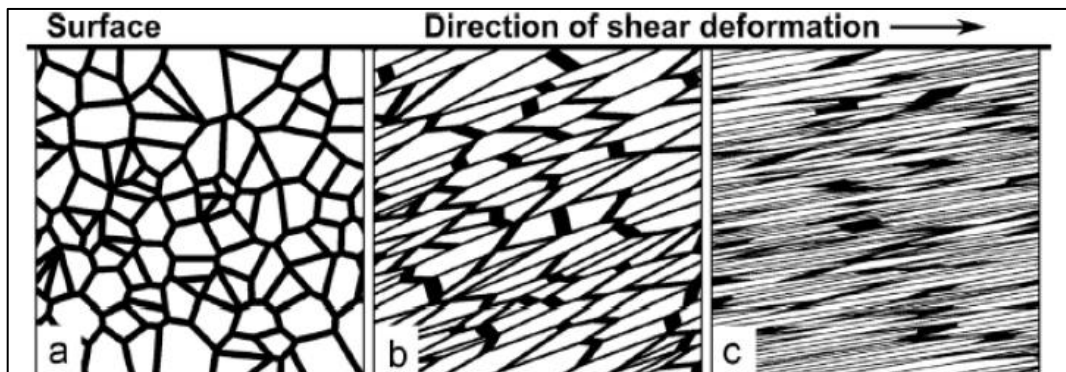


Figure 5: Exemple de déformation plastique dans la structure micrographique

2.1.1 Apparition de fissures sous la surface

Lorsque seule une force verticale, due au poids du véhicule, est appliquée par la roue sur le rail, un état de contrainte se développe dans la roue et le rail. Comme illustré dans la Figure 6 (dans le rail), la contrainte de cisaillement maximale τ_{max} n'est pas atteinte à la surface de contact, mais en dessous de la surface du rail. Un état de contrainte similaire se manifeste également sous la surface de la roue.

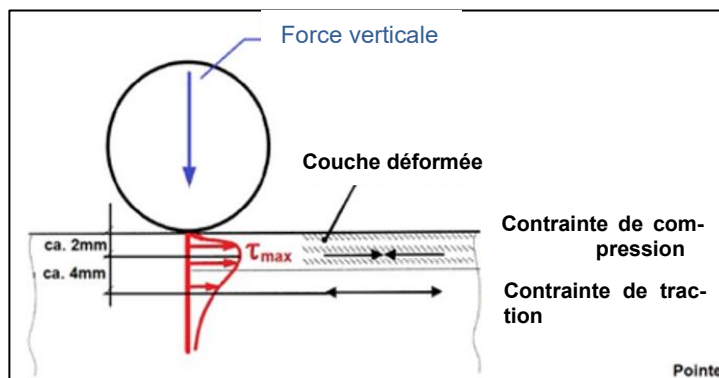


Figure 6: État de contrainte sous la surface de la roue et du rail

Le diagramme suivant montre que l'état de contrainte maximal est atteint en dessous de la surface (sous le centre du contact, $z/a = 0$).

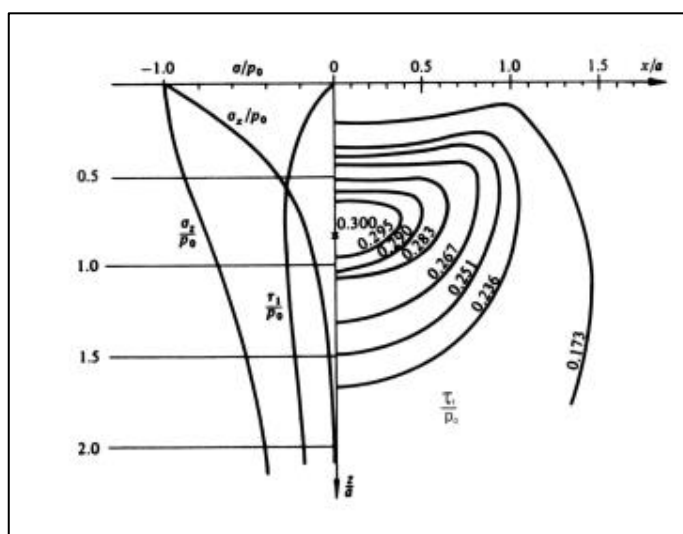


Figure 7: État de contrainte en dessous de la surface

2.1.2 Apparition de sur la surface

La combinaison de forces verticales et tangentielles (Figure 8) génère deux composantes de contrainte dans la surface de contact : la contrainte normale et la contrainte tangentielle.

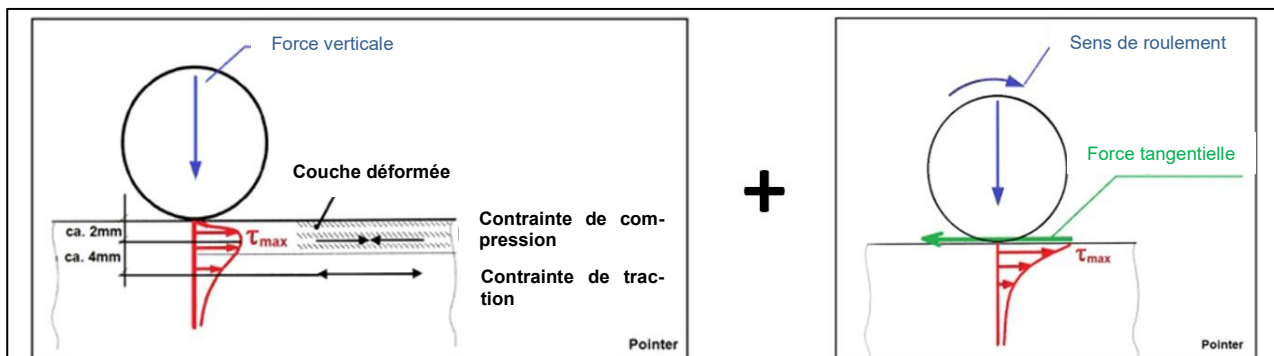


Figure 8: Contraintes dues à la force verticale (à gauche) et à la force tangentielle (à droite)

Lorsque des forces tangentielles s'ajoutent aux forces normales, les contraintes de cisaillement équivalentes maximales se déplacent vers la surface de contact.

Le diagramme suivant montre que, sous l'effet simultané de ces deux composantes de force, une contrainte de cisaillement équivalente très élevée peut également apparaître à la surface ($z/a = 0$).

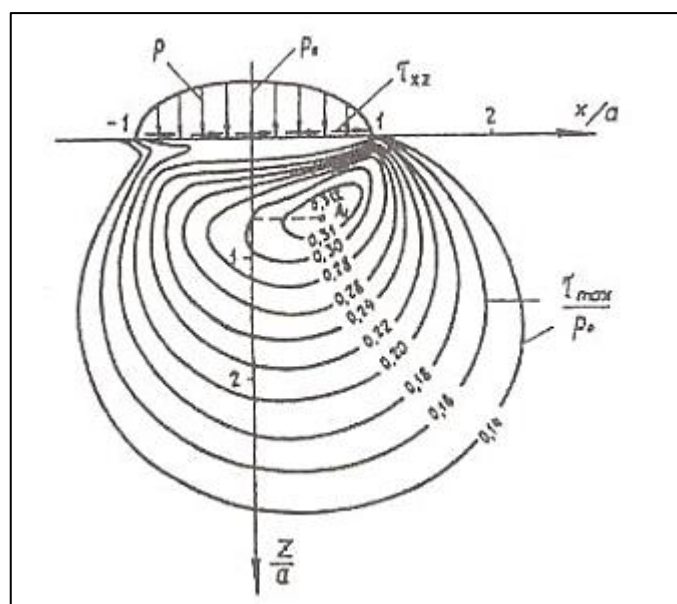


Figure 9: État de contrainte à la surface

2.2 Propagation des fissures

Des sollicitations extérieures (mécaniques ou thermomécaniques) peuvent faire en sorte que l'état de contrainte au niveau d'une fissure déjà présente dans le matériau dépasse la limite maximale admissible, même si la charge appliquée est inférieure à la charge autorisée (fatigue de contact de roulement). Cela entraîne une nouvelle déformation plastique, permettant ainsi la propagation de la fissure.

Les forces d'adhérence longitudinales dues à l'accélération ou au freinage provoquent une compression et une extension du matériau des roues et des rails. Ces phénomènes de compression et d'allongement peuvent être illustrés de manière parlante à l'aide de l'exemple du pneu d'un véhicule routier, comme le montre la Figure 10.

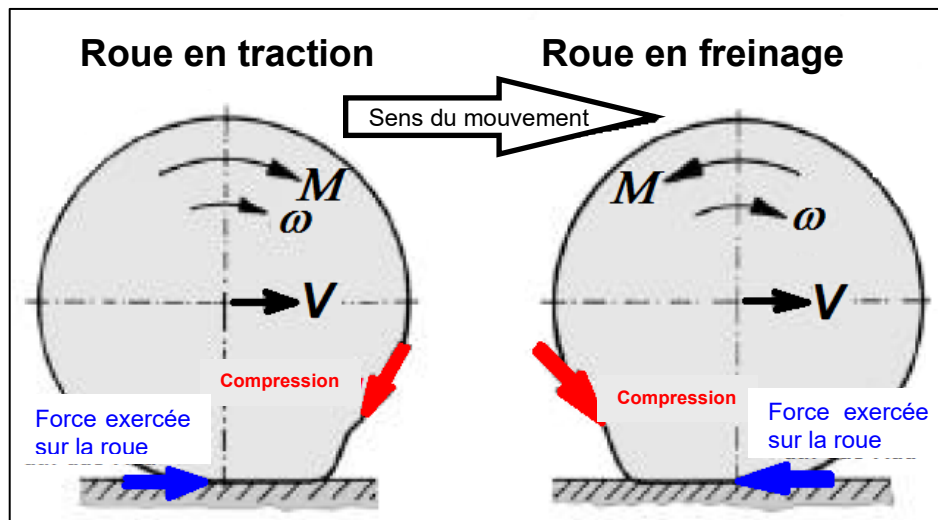


Figure 10: Compression et allongement du pneu d'un véhicule routier lors de la traction et du freinage

Lors de l'accélération, la zone de contact de la roue se comprime avant d'entrer en contact avec le rail, tandis que la zone déjà en contact s'allonge. Les forces de réaction exercées par la roue sur le rail (illustrées en rouge, Figure 11) agissent avec la même intensité, mais en sens opposé, sur le matériau du rail. La zone de contact du rail déjà en contact avec la roue est comprimée, tandis que la partie du rail qui n'a pas encore été touchée par la roue s'allonge. Lors du freinage, les contraintes s'exercent de la même manière, mais en sens inverse.

La Figure 11 montre les forces et les contraintes agissant sur la roue et le rail pendant l'accélération (traction à gauche) et la décélération (freinage à droite).

Cette alternance de compression et d'allongement des zones de contact entre la roue et le rail, due aux forces d'adhérence, avant ou après le passage d'une fissure par la zone de contact, est ici représentée pour les cas de traction et de freinage. Si une contrainte de traction agit sur une fissure avant son entrée dans la zone de contact roue/rail, celle-ci s'ouvre. Si une contrainte de compression agit sur la fissure avant son entrée dans cette zone, celle-ci se ferme. Si un liquide (eau ou lubrifiant) pénètre dans une fissure ouverte avant qu'elle n'entre dans la zone de contact, celle-ci sera ensuite refermée lors du passage de la surface de contact. Dans cet état, le liquide emprisonné ne peut s'échapper, et en raison de son incompressibilité, la fissure s'élargit et s'allonge (voir Figure 12).

Ce phénomène observé lors de la traction et du freinage se produit également de manière analogue dans les courbes, en raison des forces d'adhérence T_1 et T_2 (voir Figure 4).

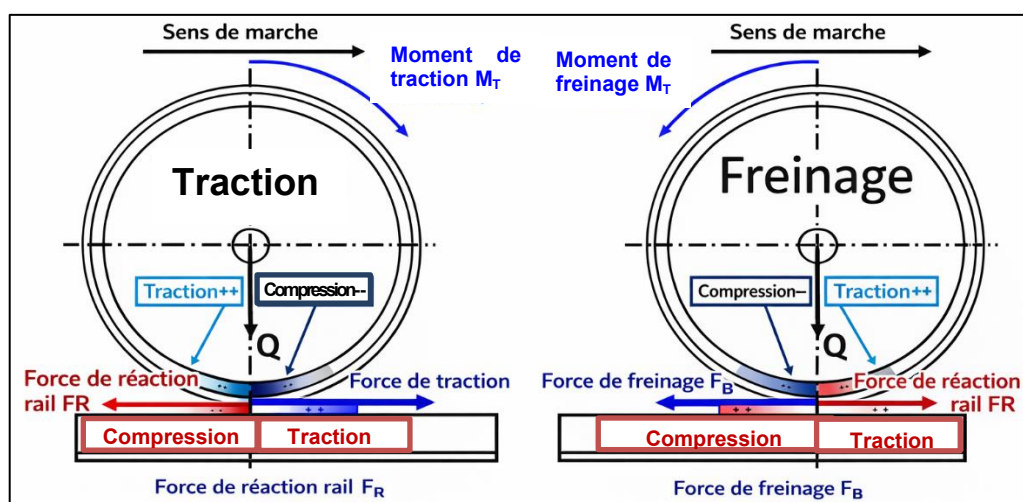


Figure 11: Contraintes de traction et de compression sur la roue et le rail lors de l'accélération (à gauche) et du freinage (à droite)

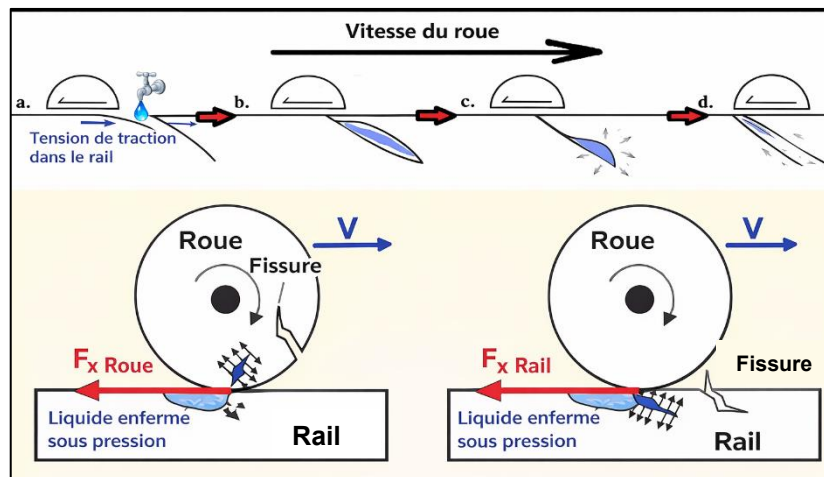


Figure 12: Effet hydrodynamique comme moteur de la propagation des fissures

En cas de traction (voir Figure 11), une fissure dans le rail s'ouvre sous l'effet des forces d'adhérence (force de traction) avant d'être écrasée par la roue. Le passage de la roue referme la fissure, qui se propage ensuite en raison de l'effet dit hydrodynamique. Lors du freinage, ce phénomène se produit au niveau de la roue. C'est pourquoi les fissures sur les roues se propagent particulièrement lors du freinage, de manière parallèle à l'essieu, dans la zone 3 (voir Figure 16).

Ces fissures ne peuvent se propager que si elles ne sont pas inhibées par l'usure. La Figure 13 montre, dans la zone du cercle de roulement (zone 3, RCF 3), des fissures parallèles à l'essieu ainsi que, dans certains cas, des éclats déjà visibles. Ces fissures semblent très tranchantes, ce qui indique une usure plutôt faible dans cette zone. En effet, s'il y avait eu d'avantage d'usure, les fissures seraient émoussées, ce qui témoignerait d'un équilibre entre propagation de fissure et usure.

Le test tactile (test du doigt) permet d'évaluer si les fissures sont susceptibles de croître ou non : tranchantes = susceptibles de croître, émoussées = non susceptibles de croître.

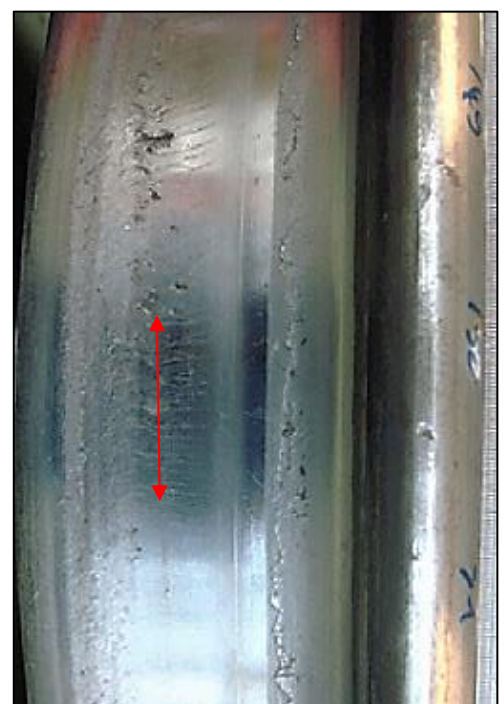
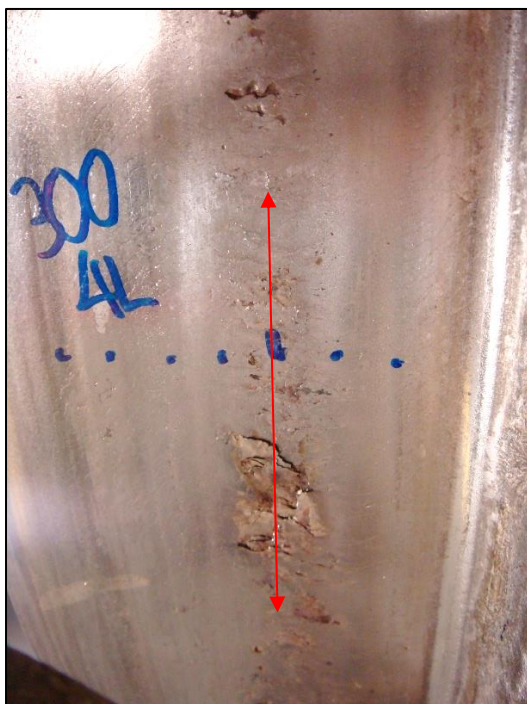


Figure 13: Direction d'ouverture des fissures et exemples de fissures RCF 3 (à gauche, Roland Müller ; à droite, EN 15313) ; le plan de la jante (zone 3) est indiqué par une flèche

Dans les courbes serrées, en plus des forces d'adhérence longitudinales (générées par l'accélération et le freinage du véhicule), des forces d'adhérence transversales apparaissent également. La Figure

14 montre les fissures apparaissant dans les zones 1 et 2 lors du passage en courbe. Contrairement à celles de la zone 3, ces fissures sont inclinées par rapport à l'axe de l'essieu. Plus le rayon de courbure est petit, plus cet angle est important.

Le comportement du châssis (avec guidage rigide de l'essieu) dans les courbes serrées est le suivant : la combinaison des forces d'adhérence longitudinales (provenant en partie de l'accélération et de la décélération) et des forces d'adhérence transversales dues au déplacement en courbe génère une force résultante inclinée sur chaque roue. Cette force d'adhérence résultante est perpendiculaire aux fissures et constitue la cause de l'ouverture des fissures dans la zone 1 pour la roue intérieure et dans la zone 2 pour la roue extérieure de la courbe.



Figure 14: Zones 1 et 2 de l'essieu avant dans les courbes

La Figure 15 illustre les forces d'adhérence ainsi que l'orientation typique des fissures dans les zones 1 et 2 à l'exemple des roues. Sur les rails, les fissures sont inclinées dans la direction opposée à celle des roues. Ces concentrations de fissures sont souvent appelées motifs en arêtes de poisson.

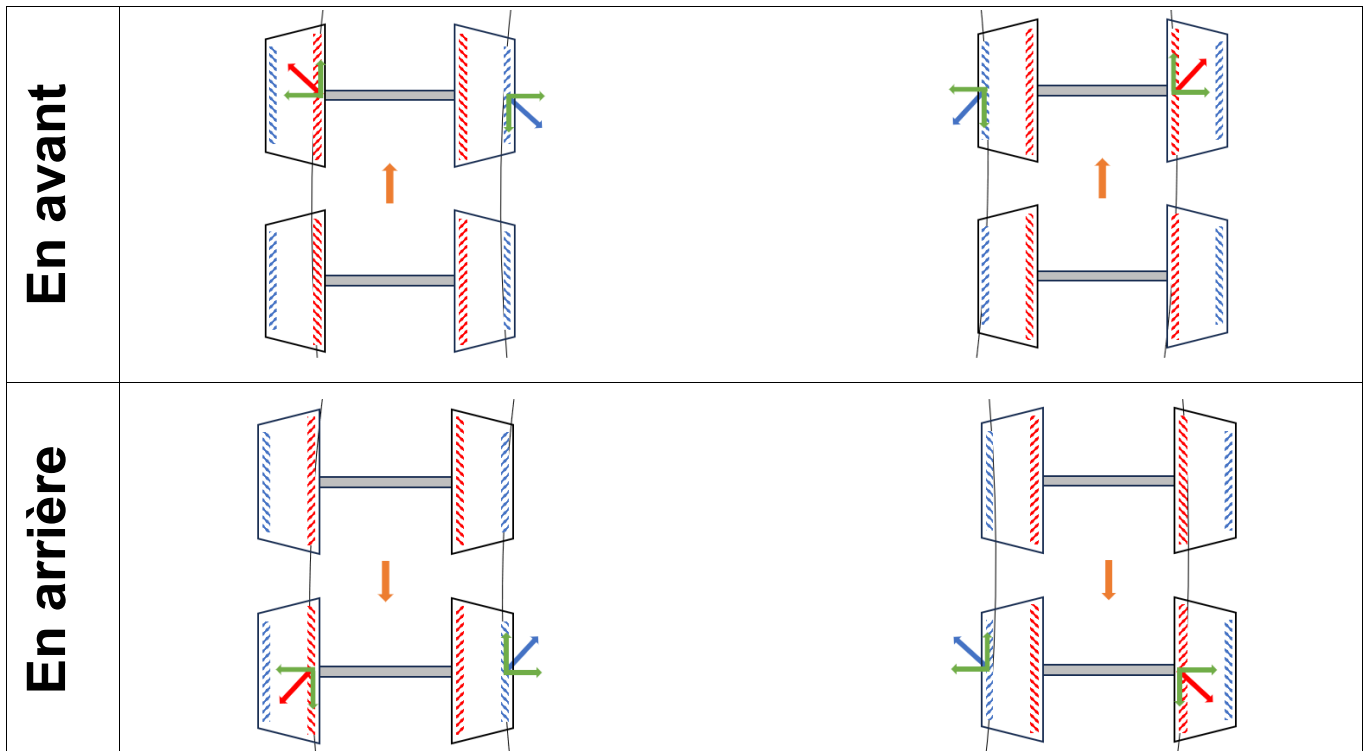


Figure 15: Forces d'adhérence et formation de fissures en courbe

Dans la voie métrique, ces fissures apparaissent principalement dans la zone 1. En règle générale, elles ne se propagent pas et ne provoquent donc pas de dommages marqués sur les surfaces de roulement. Sur le rail, ces fissures sont appelées "head-checks". Dans les courbes à petit rayon, elles sont à peine visibles, car elles sont éliminées par l'usure plus importante. En revanche, dans les courbes à grand rayon, des head-checks ont été observés sur les rails extérieurs des voies métriques. Dans ces cas, cette usure semble susceptible de se propager.

3 Dommages sur les roues

3.1 Localisation des dommages dus à la mécanique de contact sur la bande de roulement

Pour identifier le type de dommage sur la bande de roulement, il est parfois nécessaire de déterminer la zone dans laquelle le dommage apparaît. Les zones de contact (définies pour identifier les différents types de dommages dus à la fatigue de contact de roulement) sont décrites à la Figure 16 et dans le Tableau 1.

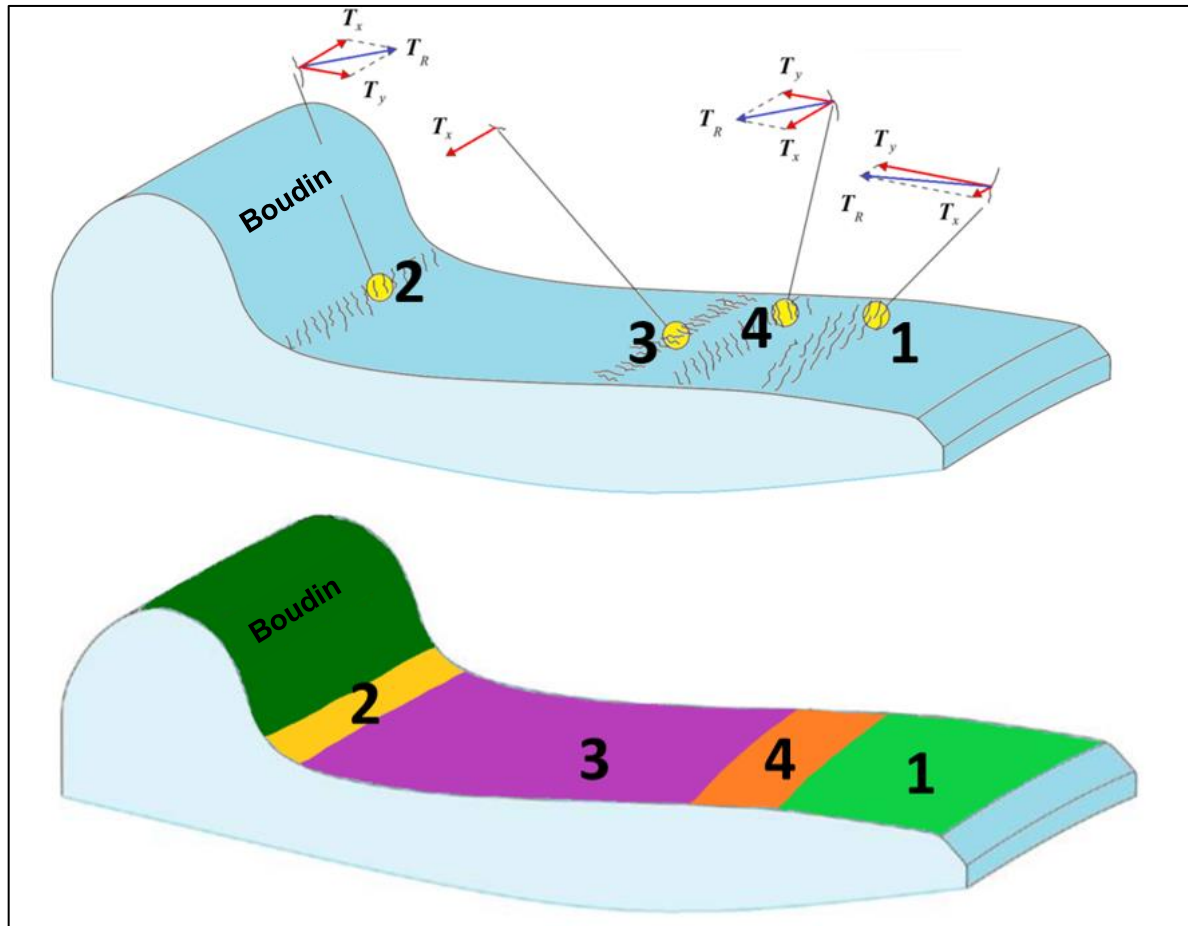


Figure 16: Zone de contact de la roue

Zone 1	La zone 1 correspond à la partie extérieure (à partir d'environ 30 mm du cercle de roulement vers la face frontale du boudin de roue). Cette zone est particulièrement sollicitée lors du passage dans des courbes très serrées (roue intérieure, essieu avant) et dans les aiguillages
Zone 2	La zone 2 est définie par le creux de roulement. Elle est particulièrement concernée lors du passage des roues à l'avant du véhicule côté extérieur dans les courbes serrées ou très serrées. Cette zone se situe à partir d'environ 30 mm du cercle de roulement en direction du boudin de roue.
Zone 3	La zone 3 correspond à la partie centrale de la bande de roulement et couvre une zone de ± 30 mm autour du cercle de roulement. Elle est sollicitée notamment lors du passage en courbe des essieux arrière dans les bogies, mais également pour toutes les roues en ligne droite.
Zone 4	La zone 4 se situe entre les zones 1 et 3. Elle est principalement en contact avec la roue intérieure dans les courbes de rayon moyen à grand.
Boudin de roue	Le flanc du boudin est particulièrement sollicité lors du passage des roues à l'avant du véhicule côté extérieur dans les courbes serrées ou très serrées, ainsi que pour toutes les roues passant dans les aiguillages.

Tableau 1: Description des zones de contact de la roue

Afin de faciliter l'identification, la localisation et l'analyse des dommages, il est recommandé de marquer les roues comme suit lors des essais en service et en cas d'observations particulières :

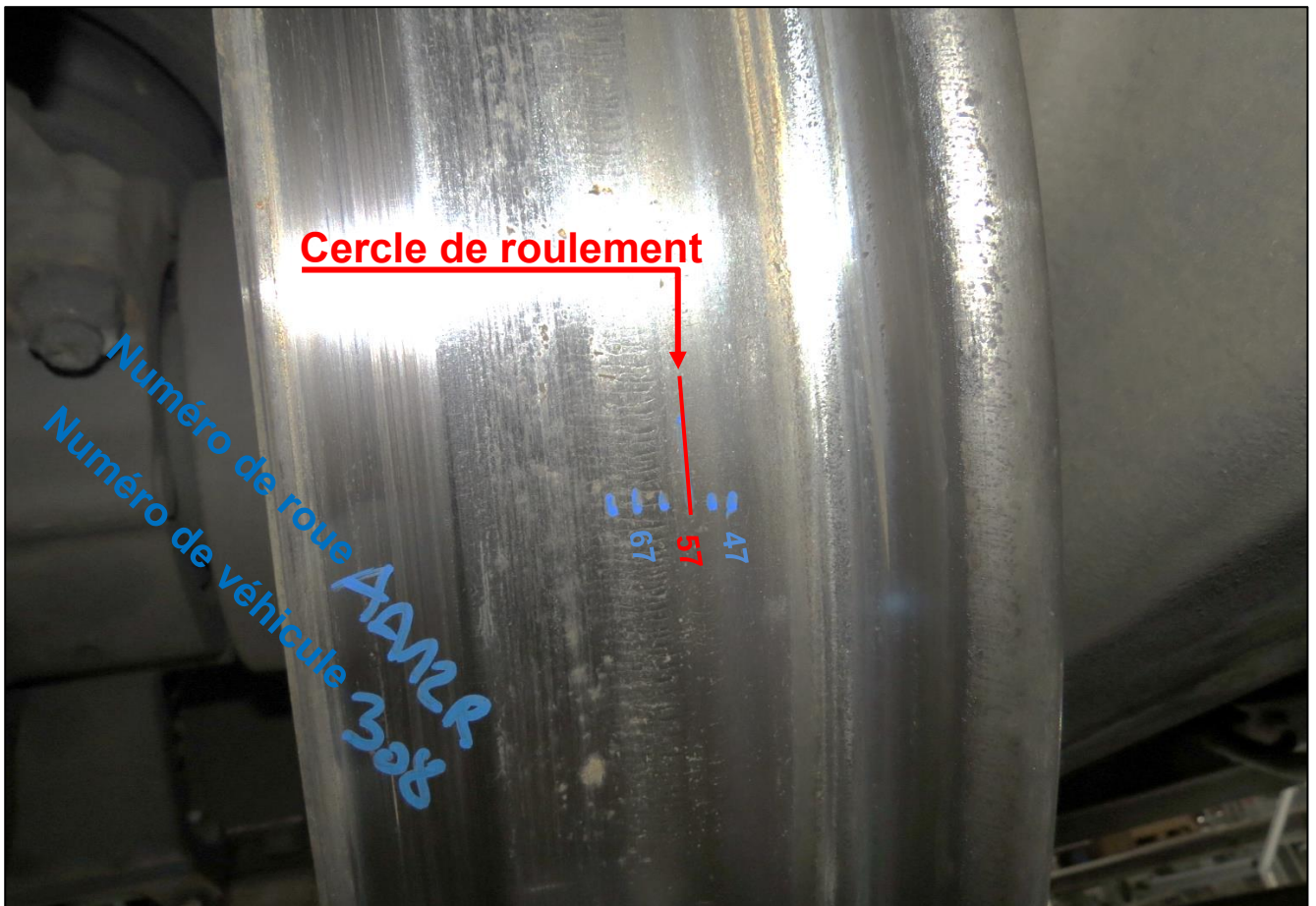


Figure 17: Marquage des roues

3.2 Codification des dommages dus à la mécanique de contact sur les bandes de roulement

La codification des dommages sur les roues dans le catalogue des dommages liés à l'interaction pour la voie métrique est inspirée du document technique UIC B 169/DT 405 ⁴.

Étant donné que le présent document traite uniquement des dommages sur la bande de roulement et sur le boudin de roue, causés par l'interaction entre la roue et le rail, seuls certains dommages issus du document UIC B 169/DT 405 sont pris en compte. Le Tableau 2 donne un aperçu des dommages considérés dans ce catalogue.

En complément de la codification selon l'UIC B 169/DT 405, une distinction est faite entre les codes de défauts pour les roues et ceux pour les rails :

- Les codifications précédées de la lettre **R** font référence à des **défauts sur les roues**
- Les codifications précédées de la lettre **S** font référence à des **défauts sur les rails**

La codification des défauts de roue est définie comme suit :

Code de défaut : **R**-_ _ _ _

Le premier chiffre (de gauche à droite) distingue le type de défaut :

- (1) Défaut sur l'essieu

Le deuxième chiffre précise la zone de l'essieu concernée par le défaut :

- (1) Défaut sur la bande de roulement
- (2) Défaut sur le boudin / le bandage de roue

Le troisième et le quatrième chiffre permettent d'identifier précisément le type de défaut dans ces zones.

⁴ UIC B 169/DT 405 – *Catalogue des défauts sur Roues / Essieux Axes / Essieux – Partie 1 : Introduction, terminologie, classification des défauts, types de défauts des essieux*

R-11__	Bande de roulement		UIC B 169/DT 405	Catalogue des dommages d'interaction – Zones de contact roue/rail
	R-1101	Méplat	✓	✓
	R-1102	Plat singulier	✓	✓
	R-1103	Excentricité	✓	✓
	R-1104	Ovalité	✓	✓
	R-1105	Polygones	✓	✓
	R-1106	Polygones – Irrégularité de circularité à courte longueur d'onde	✓	✓
	R-1107	Irrégularité de circularité stochastiques	✓	✓
	R-1108	Dépôt de matière	✓	✓
	R-1109	Refoulement de matière/Laminage de matière	✓	✓
	R-1110	Écaillage – Trous	✓	✓
	R-1111	Exfoliations	✓	✓
	R-1112	Empreintes (indentations)	✓	✓
	R-1113	Fissures en réseau (peau de crapaud)	✓	✓
	R-1114	Fissures Head Checks (fissures initiées par glissement)	✓	✓
	R-1115	Fissures transversales de la bande de roulement – Fissures isolées	✓	✓
	R-1116	Cavités et sillons	✓	✓
	R-1117	Creux	✓	
	R-1118	Dommages sur le chanfrein	✓	
	R-1119	Cavité/écaillage profond (shelling)		✓
R-12__	Sur le boudin / le bandage		✓	✓
	R-1201	Séparation du matériau sous la bande de roulement	✓	✓
	R-1202	Surcharge thermomécanique des roues monoblocs	✓	
	R-1203	Surcharge thermomécanique des roues à bandage	✓	
	R-1204	Bandage desserré / tournant	✓	
	R-1205	Fissures dues aux entailles de tension à la base du boudin	✓	
	R-1206	Endommagement dus à des marquages	✓	
	R-1207	Dommages dus à l'équilibrage	✓	
	R-1208	Fissure transversale de chanfrein		
	R-1209	Dommages dans l'alésage du bandage y compris ceux dus aux agrafes de retenues	✓	
	R-1210	Fissures sur le boudin	✓	✓
	R-1211	Endommagement du sommet du boudin		✓
	R-1212	Boudin avec formation de rebord (refoulement du sommet du boudin)		✓
	R-1213	Traces de contact radiales et dommages sur la face frontale interne du boudin		✓
R-13__	Sur le corps de roue		✓	
R-14__	Sur l'axe d'essieu		✓	

Tableau 2: Dommages repris du catalogue UIC B 169/DT 405 pour l'écartement métrique (colonne grise). Classification des dommages aux roues selon l'UIC B 169/DT 405

3.3 Compilation des dommages dus à la mécanique de contact sur la surface de contact de la roue

3.3.1 Irrégularité de circularité

Les irrégularités de circularité regroupent toutes les formes de variations du rayon par rapport à un cercle idéal. Contrairement au terme couramment utilisé d'«ovalisation» (Δr maximal sur la circonférence complète de la roue), le terme « déviations de circularité » permet de décrire l'amplitude et la forme de la déviation. La différence entre le rayon maximal et minimal sur la circonférence est désignée par Δr (ovalisation). On distingue les types de déviations de circularité suivants :

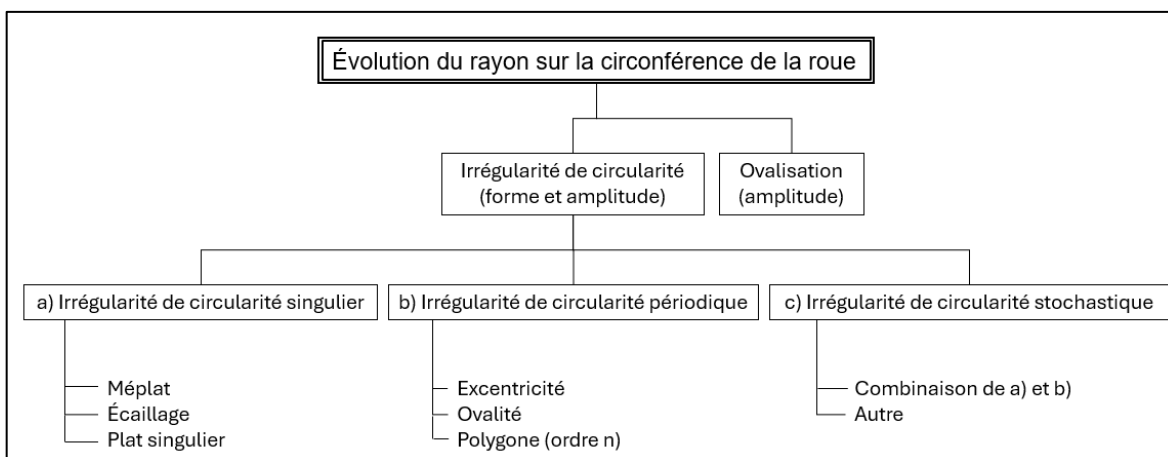
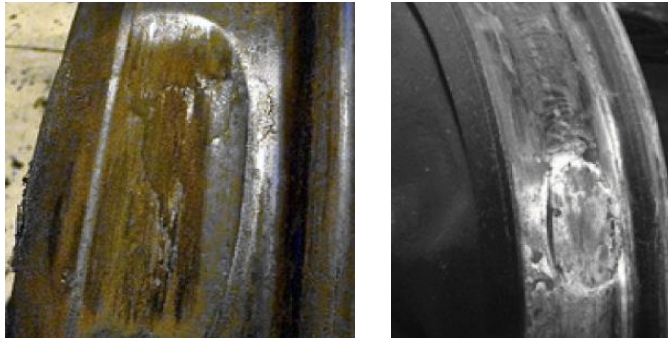

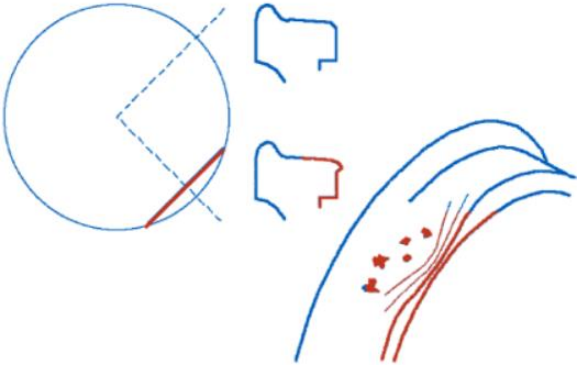


Figure 18: Variation du rayon sur la circonférence des roues selon l'UIC B 169/DT 405

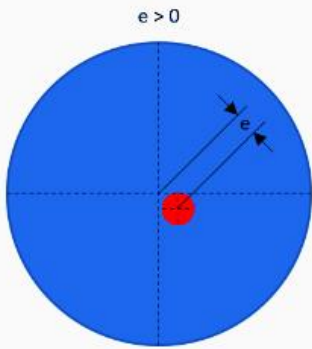
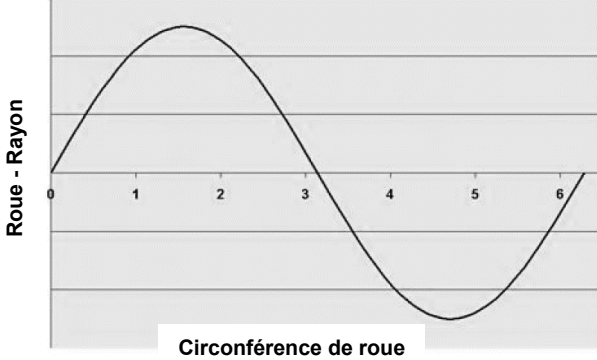
3.3.1.1 Méplat [Code de défaut : R-1101]

Caractéristique	La surface de roulement présente un méplat, une ou plusieurs zones ovales peuvent être visibles. Cela signifie qu'un ou plusieurs plats peuvent apparaître sur la circonférence de la roue. Le bord périphérique du méplat peut présenter une transition nette (méplat récent) ou adoucie (méplat usé).		
Représentation graphique EN-15313 [4]			
Localisation	- En général, les méplats apparaissent en zones 3 et 4 sur les deux roues opposées d'un même essieu. Parfois, seul un côté est affecté (frein sabot unilatéral).		
Possibilités de confusion	- Plats singuliers [Code de défaut : R-1102], si la longueur admissible du méplat est largement dépassée.		
Cause possible	Un méplat est provoqué par le glissement d'une roue bloquée sur le rail : <ul style="list-style-type: none"> - Frein serré (méplat visible exactement en face sur les deux roues) - Défaut de système anti-enrayage (méplats sur les deux roues) - Frein à main serré (méplat sur les deux roues) - Frein sabot unilatéral (méplat sur une seule roue) 		
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu (directement sur la bande de roulement ou via des indices secondaires : goupilles brillantes, traces d'huile sur le corps de roue / suintement de graisse) - À l'ouïe - Par installation de détection fixe en voie - Signalement par le personnel train/loc (tickets) - Toujours inspecter les deux roues d'un essieu (voir « Cause possible ») 		
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Pour les véhicules à sabots de frein : les petits méplats peuvent disparaître en exploitation par l'action des semelles sur la surface de roulement. Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du système anti-enrayage 		
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Si la longueur admissible est dépassée : composants de suspension desserrés, ruptures de ressorts Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Si la longueur admissible est dépassée : rupture de rail (surtout par temps froid) Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 		
Recommandation	Diamètre de roue [mm] 1000 < d 840 < d ≤ 1000 630 < d ≤ 840 550 < d ≤ 630 d < 550	Longueur limite [mm] > 80 60 40 35 30	Retirer immédiatement du service et reprofiler les roues (R0) ou, si nécessaire, remplacer l'essieu monté (EEM). Voir aussi : Plats singuliers [Code de défaut : R-1102]
Extrait de la norme EN 15313 [4] Valeurs pour voie normale - Charge à l'essieu < 18 t - Vitesse maximale Vmax ≤ 160 km/h	Longueur ≤ longueur limite		Poursuite de l'exploitation et surveillance

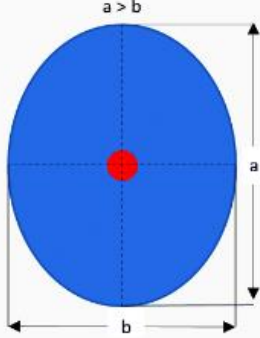
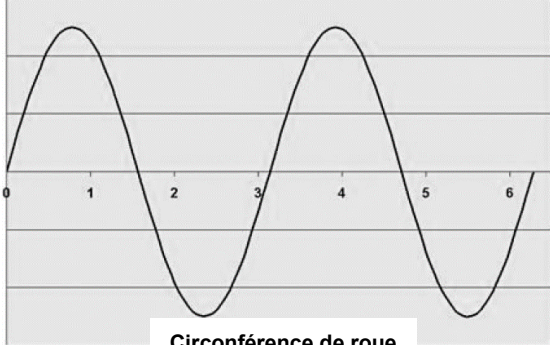
3.3.1.2 Plats singuliers [Code de défaut : R-1102]

Caractéristique	Les aplatissements singuliers le long de la circonférence de la roue sont la conséquence de défaillances du système de freinage ou de propriétés inhomogènes du matériaux. Chaque rotation de roue génère une sollicitation par impact, ce qui entraîne du bruit, des dommages sur les organes de roulement et de suspension, ainsi qu'une réduction du confort. Des effets similaires peuvent être observés lorsque des écaillages importants apparaissent sur la bande de roulement. La profondeur d'un aplatissement typique est supérieure à celle d'un simple méplat et peut atteindre 4 à 5 mm.	
Représentation graphique À gauche : EN-15313 [4] À droite : Roland Müller		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, zones 1, 3 et 4	
Possibilités de confusion	- Méplat [Code de défaut : R-1101] - Écaillage (Spalling) [Code de défaut : R-1110]	
Cause possible	- Résistance du matériau trop faible ou propriétés inhomogènes du matériau dans la zone endommagée - Dans de rares cas, conséquences des méplats unilatéraux - Conséquence d'une séparation du matériau sous la bande de roulement	
Méthode de détection	- À l'œil nu directement sur la bande de roulement, ainsi qu'à l'aide d'indicateurs secondaires (goupilles brillantes, traces d'huile sur le corps de roue / suintement de graisse) - À l'aide d'installations de détection fixes dans la voie (points de contrôle de la charge à l'essieu) - Mesure du faux-rond - À l'oreille - En cas de forts refoulement de matière / laminage de matière : à l'œil nu - Signalement par le personnel de conduite / train (tickets) - Présence localisée d'un écrasement latéral – généralement sur une seule roue du même essieu	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : - Reprofilage - En cas d'amplitudes très élevées (à définir) : contrôle du véhicule et du bogie Mesure préventive : - Aucun Environnement - Aucun	
Effets	Matériel roulant : - Si la longueur des plats dépasse la limite autorisée : composants de suspension desserrés, ruptures de ressorts. Infrastructure : - Si la longueur dépasse la limite : rupture de rail, surtout par temps froid. Environnement : - Aucun	
Recommandation	Les plats singuliers sont difficiles à mesurer, mais s'ils sont détectés :	Mise hors service immédiate et reprofilage des roues (R0), ou remplacement de l'essieu, si nécessaire.

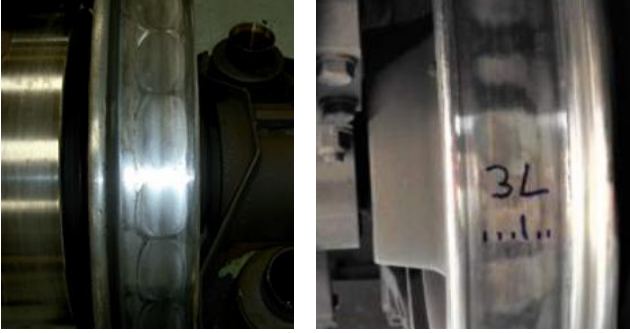
3.3.1.3 Excentricité [Code de défaut : R-1103]

Caractéristique	Les excentricités font partie du groupe des irrégularités de circularité périodiques. L'excentricité (décalage du centre) représente une variation du rayon avec une longueur d'onde équivalente à la circonférence de la roue. Lorsqu'on déroule cette variation, elle se présente sous la forme d'une onde sinusoïdale le long de la circonférence de la roue. La présence d'excentricités est synonyme d'une répartition de masse inhomogène par rapport au centre de rotation dynamique de l'essieu, ce qui équivaut à la présence d'un balourd.	
Représentation graphique À gauche : RAILplus À droite : UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Toute la circonférence de la roue	
Possibilités de confusion	- Si seule l'amplitude est enregistrée lors de la mesure du faux-rond, un risque de confusion avec d'autres types d'irrégularités de circularité peut se présenter.	
Cause possible	Problèmes liés à la fabrication - Excentricité de l'alésage du moyeu de roue - Excentricité de la portée de la roue - Excentricité du centrage en bout d'arbre - Balourd trop important	
Méthode de détection	- Mesure du faux-rond - Vibrations structurelles de la caisse du véhicule (première fréquence propre de flexion)	
Mesure corrective	Mesure corrective : - Reprofilage - Équilibrage en cas de balourd trop important Mesure préventive : - Assurer le centrage de l'essieu lors de l'usinage	
Effets	Matériel roulant : - Influence sur le confort de roulement lorsque la combinaison entre l'excentricité et la vitesse de circulation génère une fréquence proche de la fréquence propre de la caisse. Infrastructure : - Aucun Environnement : - Aucun	
Recommandation Extrait de la norme EN 13262 [6] Valeurs pour voie normale Vitesse maximale $V_{max} \leq 120$ km/h	Balourd maximal 125 gm	Poursuivre l'exploitation, planifier le reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu. Lors de l'usinage, veiller au centrage correct de l'essieu. Éliminer le balourd et vérifier la circularité.


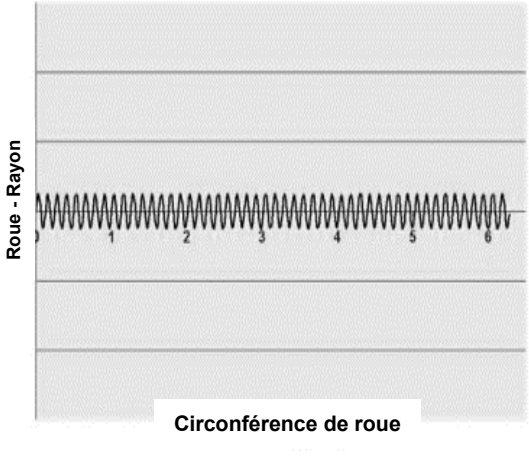
3.3.1.4 Ovalité [Code de défaut : R-1104]

Caractéristique	Les ovalisations font partie du groupe des irrégularités de circularité périodiques. L'ovalisation (« forme ovoïde ») représente une variation du rayon avec une longueur d'onde correspondant à la moitié de la circonférence de la roue. Lorsqu'on déroule cette variation, elle se manifeste sous la forme de deux ondes sinusoïdales sur la circonférence de la roue.	
Représentation graphique À gauche : RAILplus À droite : UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Toute la circonférence de la roue	
Possibilités de confusion	- Si seule l'amplitude est mesurée lors du contrôle du battement (faux-ronds), il existe un risque de confusion avec d'autres types d'irrégularités de circularité.	
Cause possible	- Problème lié à la fabrication, par exemple dû à un serrage à deux mors lors du profilage ou du reprofilage.	
Méthode de détection	- Mesure de faux-ronds (battement axial et radial)	
Mesure corrective	Mesure corrective : - Reprofilage Mesure préventive : - Amélioration du processus de profilage	
Effets	Matériel roulant : - Influence sur le confort de roulement lorsque la combinaison entre l'ovalisation et la vitesse de circulation engendre une fréquence proche de la fréquence propre de la caisse du véhicule. Infrastructure : - Aucun Environnement : - Aucun	
Recommandation	Lorsque l'ovalité est détectée :	Continuer à rouler. Si possible, planifier le reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, le remplacement de l'essieu. Après le reprofilage, contrôler la circularité.

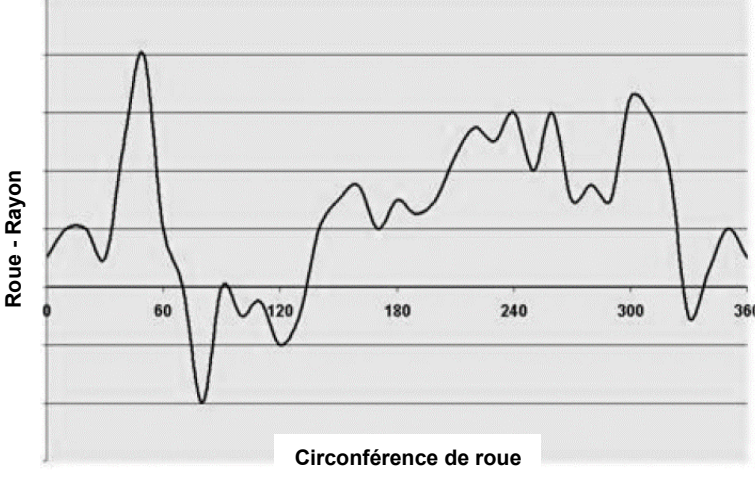
3.3.1.5 Polygones [Code de défaut : R-1105]

Caractéristique	<p>Des irrégularités périodiques de circularité apparaissent sur la circonférence de la roue. Sur le diagramme de faux-rond, ces irrégularités se manifestent sous forme de courbes sinusoïdales approximativement périodiques tout autour de la roue.</p> <p>L'identification des composantes périodiques est possible par une analyse de Fourier du profil de faux-rond.</p> <p>La longueur d'onde de ces irrégularités se situe entre quelques centimètres et environ un mètre. Les exemples typiques des irrégularités périodiques de circularité sont les polygones à 3 lobes (c'est-à-dire une onde sinusoïdale triple sur le périmètre de la roue) ainsi que les polygones à 5 à 28 lobes.</p>	
Représentation graphique À gauche : RTE 41500 [1] À droite : RAILplus		
Localisation	- Sur toute la circonférence de la roue, zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	- S'il n'est mesuré que l'amplitude lors du contrôle du faux-rond, il existe un risque de confusion avec d'autres types d'irrégularités de circularité.	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Bogies présentant une mauvaise orientation (désalignement) - À l'exception des polygones triples, les polygones multiples sont généralement causés par les forces de glissement entre la roue et le rail. - Circulation fréquente dans des courbes serrées 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure du faux-rond - Installations de détection fixes dans la voie - À l'oreille (bruit perceptible à l'intérieur et à l'extérieur du véhicule) - À un stade avancé, détectable à l'œil nu (écaillage visible) - À l'œil nu (directement sur la bande de roulement ou à l'aide d'indices secondaires tels que : goupilles polies, traces d'huile sur le disque de roue / suintement de graisse) - À l'oreille (augmentation du bruit de roulement) - Signalement par le personnel de conduite/train (via tickets) - Bruits et vibrations anormales 	
Mesure corrective	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Maintenance du châssis / bogie Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Réglage radial des essieux - Conditionnement du champignon du rail - Utilisation de matériaux de roue à haute dureté 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Confort de roulement, vibrations dans la caisse du véhicule Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Avec des fréquences de 60 à 80 Hz (selon le nombre, la taille des polygones et la vitesse de circulation), des vibrations sont induites dans la superstructure de voie. Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Secousses, bruit 	
Recommandation	Forte vibration et bruit important	Retirer immédiatement de l'exploitation et reprofiler les roues (R0) ou (si nécessaire) remplacer l'essieu
	En cas de signalement de bruit ou d'impact sur le confort de roulement → contrôler le véhicule. La polygonisation est visible lors du contrôle visuel.	Prévoir de poursuivre l'exploitation, planifier un reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier un remplacement de l'essieu .


3.3.1.6 Polygones – Déviations de circularité à courte longueur d'onde [Code de défaut : R-1106]

Caractéristique	Les écarts de circularité périodiques à courte longueur d'onde se caractérisent généralement par une faible amplitude. La longueur d'onde de l'écart de circularité est au maximum de quelques centimètres (environ 5 à 8 cm). Un exemple classique de ces écarts à courte longueur d'onde est constitué par les stries de freinage causées par les semelles de frein en fonte grise.	
Représentation graphique À gauche : Roland Müller À droite : UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	- Si, lors de la mesure du faux-rond, seule l'amplitude est relevée, il existe un risque de confusion avec d'autres types d'irrégularités de circularité (par ex. polygones à longues longueurs d'onde).	
Cause possible	- Ondulations de frein dues au frein à sabots avec semelles en fonte grise	
Méthode de détection	- Contrôle visuel - Système de détection des émissions sonores - À l'oreille (bruit de roulement accru)	
Mesure corrective	Mesure corrective : - Reprofilage (après le reprofilage, les ondulations de frein réapparaîtront) Mesure préventive : - Réflexion sur la transition des semelles en fonte grise aux semelles de frein en matériaux composites - À long terme (si possible), passage aux freins à disque	
Effets	Matériel roulant : - Bruit à l'intérieur du véhicule Infrastructure : - Analogue aux ondulations sur les rails. Contrairement aux Polygones [Code de défaut : R-1105], l'amplitude du défaut est trop faible pour générer des fréquences pertinentes dans la superstructure. Environnement : - Émission sonore accrue	
Recommandation	Après une augmentation du bruit, contrôler le véhicule et/ou ses alentours. Les polygones dus au frein sont visibles lors de l'inspection visuelle.	- Continuer la circulation, planifier, si possible, le reprofilage des roues (R0) ou planifier le remplacement de l'essieu - Transition des semelles de frein en fonte grise en semelles de frein en matériaux composites

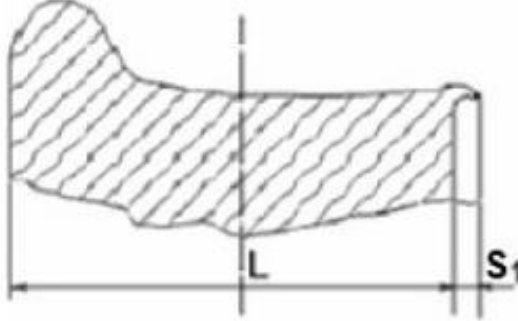

3.3.1.7 Déviations de circularité stochastiques [Code de défaut : R-1107]

Caractéristique	Les déviations stochastiques de circularité se manifestent, dans la représentation du profil d'ovalisation, par des fluctuations irrégulières du rayon sur la circonférence. Une décomposition de Fourier de l'irrégularité stochastique de circularité ne fournit aucune information pertinente.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		Comme ce type de déviation de circularité n'est pas perceptible à l'œil nu, l'illustration ci-contre présente un exemple de ce type d'endommagement de roue. Sur l'illustration, on peut observer l'erreur stochastique de l'irrégularité par rapport au rayon nominal en fonction de la circonférence de la roue.
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	- Si, lors de la mesure du faux-rond, seule l'amplitude est enregistrée, il existe un risque de confusion avec d'autres types d'irrégularités de circularité	
Cause possible	- Inhomogénéités dans le comportement d'usure et de résistance sur la circonférence de la roue - Sollicitations exceptionnelles de courte durée	
Méthode de détection	- Mesure du faux-rond - Détection auditive - Par des dispositifs de détection fixes en voie	
Mesure corrective	Mesure corrective : - Reprofilage Mesure préventive : - Utilisation de matériaux améliorés - Évitement des sollicitations exceptionnelles	
Effets	Matériel roulant : - Confort de marche, vibrations dans la caisse du véhicule Infrastructure : - Vibrations dans la superstructure avec des fréquences de 60 à 80 Hz (selon le nombre, la taille des polygones et la vitesse de circulation) Environnement : - Bruit, vibrations	
Recommandation	Si détectés	Existe-t-il un motif permettant de détecter des défauts individuels dominants ou des défauts périodiques déjà connus ? - Méplat [Code de défaut : R-1101] - Plats singuliers [Code de défaut : R-1102] - Excentricité [Code de défaut : R-1103] - Ovalité [Code de défaut : R-1104] - Polygones [Code de défaut : R-1105] - Polygones – Déviations de circularité à courte longueur d'onde [Code de défaut : R-1106] Voir les recommandations pour ce défaut afin d'y remédier

3.3.2 Dépôt de matière [Code de défaut : R-1108]

Caractéristique	La surface de roulement présente des accumulations de matériau sous forme de dépôts de semelles de frein ou de matériau de rail. Ces dépôts peuvent apparaître de manière isolée ou multiple (souvent à intervalles réguliers) sur la surface de roulement. Ils indiquent une surcharge thermique des roues.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Méplat [Code de défaut : R-1101] avec déplacement de matériau - Plats singuliers [Code de défaut : R-1102] 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Meulage de la roue sur le rail (patinage, rotation saccadée ou lente). - Matériau de roue, de rail ou de semelle de frein surchauffé et détaché, provoquant des dépôts ponctuels de soudure sur les zones localement surchauffées de la surface de roulement. - Écoulement du matériau de la roue sous l'effet du freinage. - Irrégularités dans le système de freinage, y compris erreurs de manipulation du frein. - Erreurs de transmission dans le contrôle de la force de traction et de freinage pour les trains à deux cabines. - Association inappropriée de matériaux entre les semelles de frein et la roue ou le bandage de roue. 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Détection auditive - Par des dispositifs de détection fixes 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Les dépôts de matériau de faible importance peuvent se corriger d'eux-mêmes sous l'effet des semelles de frein <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recherche de la cause (par ex. semelle de frein inappropriée) et correction 	
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de marche, composants de suspension desserrés, rupture de ressorts, rupture de roue <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analogue à des plats singuliers <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bruit, vibrations 	
Recommandation	Si détecté	Mettre immédiatement hors service et reprofiler les roues (R0) ou, si nécessaire, remplacer l'essieu. Voir aussi Plats singuliers [Code de défaut : R-1102]


3.3.3 Refoulement de matière/laminage de matière [Code de défaut : R-1109]

Caractéristique	Déplacement de matériau vers la surface externe du bandage/de la collerette de roue, se déplaçant au-delà de la zone de chanfrein (chanfrein plus visible ou seulement partiellement). Les surépaisseurs/déformations apparaissent souvent en association avec un profil creux.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Partie extérieure de la pente, chanfrein, face avant du bandage et de la collerette de roue	
Possibilités de confusion	- Plats singuliers [Code de défaut : R-1102]	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Glissement latéral élevé de l'essieu (en raison de la circulation dans des courbes serrées) - Position incorrecte de l'essieu - Résistance du matériau insuffisante pour la charge et le diamètre de la roue - Géométrie défavorable du profil de roue - Surcharge permanente - Matériau de roue trop tendre - Différences de diamètre trop importantes entre les deux roues d'un même essieu 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Mesure de la largeur du boudin et de la bande de roulement 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Usinage de la surépaisseur/déformation <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Éventuellement, modification du matériau de la roue 	
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les surépaisseurs peuvent se détacher et, en circulant, être projetées dans l'air et blesser des personnes <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les surépaisseurs peuvent se détacher et, lors de la circulation, être projetées dans l'air et blesser des personnes <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Surépaisseur (s_1) \geq 5 mm	Mettre immédiatement hors service et reprofiler les roues (R0) ou, si nécessaire, remplacer l'essieu
	Surépaisseur (s_1) $<$ 5 mm	Continuer la circulation et surveiller


3.3.4 Écaillage (Spalling) [Code de défaut : R-1110]

Caractéristique	Des parties de matériau se détachent de la surface de roulement en raison de la fatigue du matériau ou d'une surcharge. À partir de défauts isolés, des éclats plus profonds et des trous peuvent se former. Les éclats apparaissent principalement de manière isolée ou circulaire dans la zone médiane de la surface de roulement. Des trous peuvent se former à partir d'éclats, et dans les zones endommagées, les trous se développent suite aux méplats ou aux plats singuliers. Les éclats résultent principalement d'une fissure unique sous la surface de la roue. Dans la zone où ce type de dommage se produit, il n'y a pas de fissures RCF.	
Représentation graphique À gauche et au centre : Roland Müller À droite : EN-15313 [4]	<i>Éclats localisés / éclats circulaires</i>	<i>Éclats et trous</i>
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Exfoliation [Code de défaut : R-1111] - Méplat [Code de défaut : R-1101] - Plats singuliers [Code de défaut : R-1102] - Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112] 	
Cause possible	- Les éclats se forment à la suite de dommages de la surface de roulement dus à des sollicitations mécaniques – fatigue par contact de roulement (RCF) (surcharge, fatigue du matériau)	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Détection auditive - Par des dispositifs de détection fixes sur la voie - Confort de marche, bruit, vibrations 	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des propriétés des matériaux - Amélioration de la mécanique de contact roue-rail - Évitement de sollicitations mécaniques excessives 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Confort de marche, composants de suspension desserrés et rupture de ressorts Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - À clarifier Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Bruit, vibrations 	
Recommandation	Éclats nettement visibles	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu
	Éclats susceptibles de croître	Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu

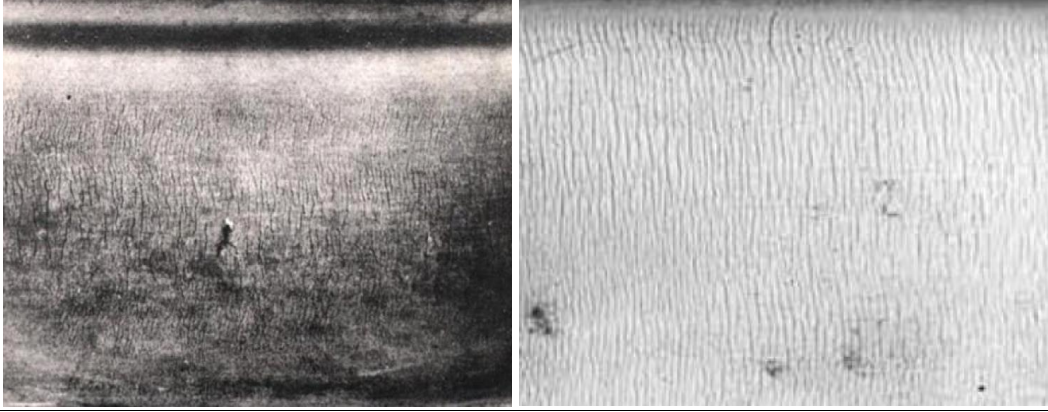
3.3.5 Exfoliation [Code de défaut : R-1111]

Caractéristique	Il s'agit d'un défaut pouvant apparaître sur toute la circonférence de la roue dans la zone de contact avec le rail, caractérisé par des fissures en forme de nervures ou de C. Avec l'évolution de ce défaut, des coquilles métalliques soudées se forment, qui se détachent ensuite de la surface de roulement. Ces coquilles écaillées sont parfois soudées et superposées, et se retrouvent par paquets sur le sabot de frein. À l'état final, l'aspect du dommage dû à l'écaillage ressemble fortement à celui des éclats.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Écaillage (Spalling) [Code de défaut : R-1110] - Méplat [Code de défaut : R-1101] - Plats singuliers [Code de défaut : R-1102] - Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112] 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Dommages de la surface de roulement dus à des sollicitations thermiques et/ou mécaniques <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sollicitation thermique (effet de la chaleur par glissement, patinage, dû à un glissement accru) ▪ Sollicitation mécanique par ex. : <ul style="list-style-type: none"> ➔ Charges excessives pour le diamètre de roue donné ➔ Qualité d'acier inappropriée de la collerette / du bandage de roue ➔ Sollicitation élevée due au glissement 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Détection auditive - Par des dispositifs de détection fixes en voie 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des propriétés des matériaux - Amélioration de la mécanique de contact roue-rail - Évitement de sollicitations mécaniques excessives 	
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de marche, composants de suspension desserrés dans la partie non amortie et rupture de ressorts <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bruit, vibrations 	
Recommandation	Dès que disponible	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu

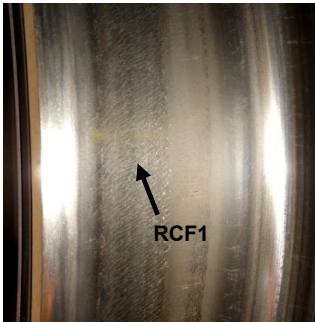
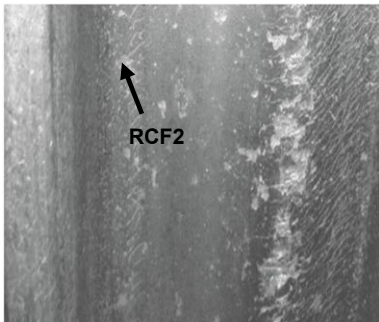

3.3.6 Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112]

Caractéristique	La surface de roulement présente des dépressions de forme irrégulière ou linéaire. Celles-ci peuvent être isolées, mais apparaissent souvent sur toute la circonférence de la roue.	
Représentation graphique À gauche et au centre : Instruction de travail – Évaluation des bandes de roulement des essieux montés [7] À droite : RTE 41000 [2]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Écaillage (Spalling) [Code de défaut : R-1110] - Fissures transversales de la bande de roulement [Code de défaut : R-1115] 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Les corps étrangers sont enfoncés dans la surface de roulement lors du passage et entraînent une déformation plastique - Lors du franchissement de joints de rail, la surface de roulement est comprimée transversalement à la direction de circulation - Défauts des rails - Dans le cas des empreintes ponctuelles (sable, petits cailloux sur les croisements routiers) 	
Méthode de détection	- Visible à l'œil nu	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Clarification avec l'infrastructure (soudure défectueuse, joints de rail, croisements avec routes) - Amélioration des propriétés des matériaux 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de roue Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	En cas d'entailles (image en haut à gauche / au centre)	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu
	Dans le cas d'empreintes ponctuelles (image en haut à droite)	Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu

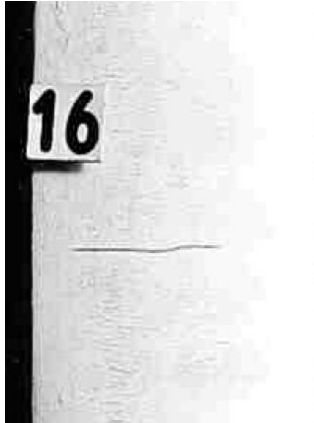
3.3.7 Fissures en réseau [Code de défaut : R-1113]

Caractéristique	La formation de la « peau de crapaud » : l'ensemble des fissures thermiques fines et superficielles qui se développent sur la surface de roulement dans la zone de contact roue-rail sous forme de mosaïque dans toutes les directions. Les fissures en réseau sur la surface de roulement sont particulièrement visibles à l'œil lorsqu'elles concernent des roues freinées par des semelles thermiquement agressives, par ex. des sabots de frein fritté. Pour d'autres associations roue-semelle de frein, des éclats sont observés sans constatation apparente de « peau de crapaud ».	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	- Fissures initiées mécaniquement, par ex. surface de roulement présentant un motif en chevrons	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Les fissures se développent sous l'effet de la chaleur de freinage avec de fortes différences de température locales, par ex. points chauds sur la surface de roulement - Association inappropriée de matériaux semelle de frein – roue ou bandage de roue (par ex. semelle de frein organique) 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Essais non destructifs (END), par exemple contrôle magnétoscopique (MT) 	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage suivi d'un contrôle des fissures Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Association appropriée des matériaux semelle de frein – roue ou bandage de roue 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Éclats et rupture de roue Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Si détecté	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu

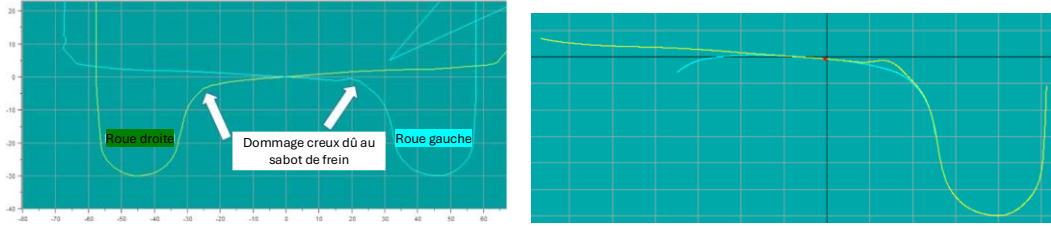
3.3.8 Head Checks – Fissures dues à la fatigue de contact de roulement (RCF) [Code de défaut : R-1114]

Caractéristique	Les Head Checks sont de fines fissures régulièrement réparties sur toute la circonférence de la roue. Sur les roues freinées par sabot, elles sont généralement lissées par les sabots de frein. Si elles ne sont pas poncées, ces fissures croissent en profondeur et résultent avec le temps à des éclats. Les Head Checks proviennent des forces d'adhérence entre la roue et le rail et dépendent du principe du bogie (essieux à orientation radiale) et du domaine d'utilisation (courbe, ligne droite). Comme le point d'appui de la roue varie sur la surface de roulement entre lignes droites et courbes, les Head Checks apparaissent sous différentes formes :		
	<i>RCF 1</i>	<i>RCF 2</i>	<i>RCF 3</i>
	Orientation : inclinaison de 45° par rapport à l'axe de l'essieu. Domaine d'utilisation : des courbes moyennes aux courbes très serrées	Orientation : inclinaison de 45° par rapport à l'axe de l'essieu. Domaine d'utilisation : des courbes moyennes aux courbes très serrées	Orientation : parallèle à l'axe de l'essieu. Domaine d'utilisation : courbes très larges et lignes droites
Représentation graphique RCF1 : RTE 41000 [2] RCF2 : Roland Müller RCF3 : Roland Müller			
Localisation	Roue : avant, côté intérieur de la courbe Zone : zone 1	Roue : avant, côté extérieur de la courbe Zone : zone 2	Roue : toutes Zone : zone 3
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Fissures transversales de la bande de roulement [Code de défaut : R-1115] - Fissures thermiques et Fissures en réseau [Code de défaut : R-1113] 		
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Les fissures se développent à la suite de sollicitations dues au glissement dans la zone de roulement, par ex. : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatigue du matériau due à une surcharge ▪ Sollicitation élevée par glissement ▪ Propriétés du matériau insuffisantes ▪ Surcharge des véhicules ▪ Principes de bogie défavorables (essieux guidés de manière rigide) ▪ Patinage oblique des essieux 		
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Essais non destructifs (END), par exemple contrôle magnétoscopique (MT) 		
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Essieux à orientation radiale - Amélioration des propriétés des matériaux - Amélioration / optimisation de la géométrie de contact 		
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Éclats, rupture de roue <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 		
Recommandation	Si les fissures sont tranchantes (RCF 3)	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu	
	Si les fissures ne sont pas tranchantes (RCF 1 & 2)	Si tendance aux éclats : planifier le reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu	
	Si les fissures ne sont pas tranchantes (RCF 1 & 2)	Si aucune tendance aux éclats : continuer la circulation et surveiller	


3.3.9 Fissures transversales de la bande de roulement [Code de défaut : R-1115]

Caractéristique	La surface de roulement présente des fissures à un angle d'environ 90° par rapport à la direction de circonférence de la roue. Les fissures transversales se développent généralement de manière droite ou légèrement courbée en surface. En profondeur, elles peuvent se prolonger radialement (principalement d'origine thermique) ou se ramifier dans le sens de la circonférence (principalement d'origine mécanique). Elles apparaissent sous forme de fissures isolées et peuvent être réparties plusieurs fois sur la circonférence de la roue.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 3 et 4	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112] mais de forme linéaire - Head Checks – Fissures dues à la fatigue de contact de roulement (RCF) [Code de défaut : R-1114] 	
Cause possible	<p>Cas A – Fissures thermiques : les fissures transversales radiales de la surface de roulement apparaissent principalement sur les véhicules freinés par sabot et peuvent être causées par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surcharge thermique due au surfreinage / surchauffe de la collerette / du bandage de roue - Points chauds - Association inappropriée de matériaux semelle de frein – roue ou bandage de roue <p>Cas B – Fissures mécaniques : les fissures transversales se ramifiant sous la surface de roulement sont principalement initiées mécaniquement et peuvent être causées par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surcharge mécanique - Propriétés mécaniques du matériau défavorables 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Détection des fissures transversales <ul style="list-style-type: none"> ▪ Visible à l'œil nu ▪ Par contrôle non destructif des matériaux, par ex. magnétoscopie, ultrasons - Détermination de la direction de propagation possible par examen destructif du matériau (usinage, coupe macroscopique) 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage suivi d'un contrôle des fissures - Remplacement de la roue <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des propriétés des matériaux 	
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Éclats, rupture de roue <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Dès que détectés et si le véhicule est équipé de freins à sabot	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu





3.3.1 Cavités et sillons [Code de défaut : R-1116]

Caractéristique	<p>Les cavités et sillons apparaissent sur toute la circonférence de la roue et peuvent se présenter sur toute la largeur de la surface de roulement.</p> <p>Les sillons se caractérisent par un contour arrondi sans transitions tranchantes. Ils apparaissent partiellement sur la largeur de la surface de roulement et ne dépassent généralement pas 40 à 50 mm de largeur.</p> <p>Les cavités se caractérisent par des transitions nettes.</p> <p>Des dépôts de matériau en couches peuvent se former sur la surface de friction de la semelle de frein.</p> <p>Les formations de cavités et de sillons peuvent apparaître avec tous les matériaux de semelle de frein, mais elles sont plus fréquentes avec les semelles composites et frittées.</p>	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Chanfrein, zone 1 ou zone 3	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Éclats de forme linéaire sur la circonférence de la roue - Rayures de rotation dues à l'usage - Déplacement de matériau sur la circonférence de la roue - Profil creux 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Zones inhomogènes sur la surface de friction de la semelle de frein - Association inappropriée de matériaux semelle de frein – roue ou bandage de roue - Position défavorable de la semelle de frein dans le profil transversal 	
Méthode de détection	- Visible à l'œil nu	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage en fonction du type de dommage et des données d'expérience disponibles à ce sujet <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de matériaux de semelle de frein appropriés - Optimisation de la géométrie des semelles de frein 	
Effets	<ul style="list-style-type: none"> - Impact sur la circulation du véhicule (évaluations possibles uniquement à partir de l'analyse géométrique du contact) - Impact sur l'usure de la roue et du rail 	
Recommandation	Profondeur > 1 mm	Reprofilage et contrôle de la zone de contact de la semelle de frein
	Profondeur < 1 mm	Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0)

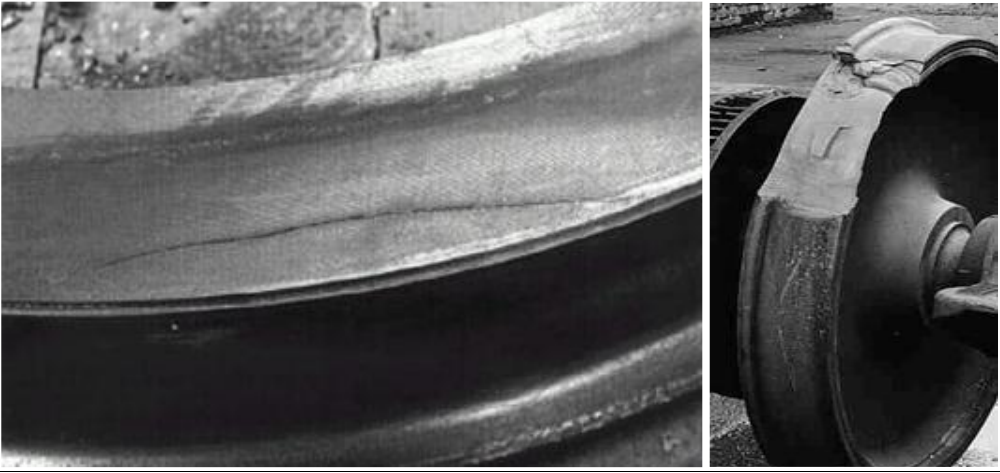
3.3.2 Détérioration du chanfrein [Code de défaut : R-1118]

Caractéristique	La bande de roulement ou la jante, au niveau de la face extérieure au niveau du chanfrein présente des traces d'usure circulaires (égratignures, stries) et, par endroits, des fissures ou éclats s'étendant dans le sens de la circonférence.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Chanfrein, zone 1	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Partielle Refoulement de matière/laminage de matière [Code de défaut : R-1109] - Fissure transversale du chanfrein [Code de défaut : R-1208] 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Ce type de dommage apparaît lors du freinage des wagons au moyen d'un dispositif de frein de voie agissant latéralement sur les roues (favorisé par le refoulement de matière de la surface de roulement et/ou un frein de voie défectueux). - D'autres causes possibles peuvent être des déraillements ou une disposition incorrecte d'éléments de construction dans les aiguillages. 	
Méthode de détection	- Visible à l'œil nu	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Remplacement de l'essieu Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Clarification avec l'infrastructure (géométrie de contact défavorable dans la zone des aiguillages) 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Risque de rupture de roue lors de l'utilisation de freins à sabot Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Dommages lors du passage en aiguillage, principalement dans la zone de cœur d'aiguillage Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Profondeur > 10mm	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu
	Profondeur comprise entre 5-10mm	Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu
	Profondeur < 5mm	Continuer la circulation et surveiller

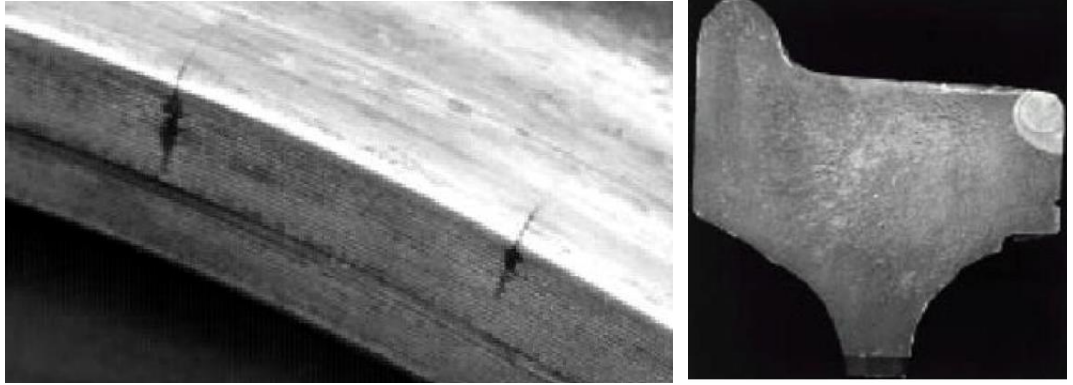
3.3.3 Cavité/écaillage profond (Shelling) [Code de défaut : R-1119]

Caractéristique	Les éclats représentent une forme avancée de fissures RCF. Si ceux-ci ne sont pas traités tôt, les fissures s'étendent jusqu'à ce que le matériau se détache de la surface laminée. Les éclats sont observés en fonction des forces d'adhérence tangentielles, car ils se développent à la surface de la roue.			
Représentation graphique	<i>Éclat isolé</i>			<i>Éclats multiples sur toute la circonférence de la surface de roulement</i>
Figure 1: Roland Müller Figure 2: Roland Müller Figure 3: UIC B 169/DT 405 [5] Figure 4: UIC B 169/DT 405 [5]	1 	2 	3 	4 
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 1, 3 et 4			
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Exfoliation [Code de défaut : R-1111] - Plats singuliers [Code de défaut : R-1102] - Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112] 			
Cause possible	- Les éclats se forment à la suite de fissures RCF et de fortes forces d'adhérence tangentielles			
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Détection auditive - Par des dispositifs de détection fixes en voie 			
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage suivi d'un contrôle pour vérifier si les dommages sont éliminés - Remplacement de l'essieu <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des propriétés des matériaux - Amélioration de la mécanique de contact roue-rail - Évitement des surcharges mécaniques / thermiques 			
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de marche, composants de suspension desserrés et rupture de ressorts <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de rail, surtout par basses températures <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bruit, vibrations 			
Recommandation	Image 3 et image 4		Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu	
	Image 1, image 2		Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0) – si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu	

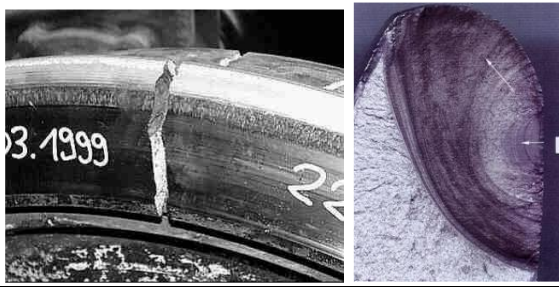
3.3.4 Séparation du matériau sous la bande de roulement [Code de défaut : R-1201]

Caractéristique	Parallèlement à la surface de roulement, des séparations de matériau (fissures) apparaissent sous la surface du bandage de la roue. Ces séparations de matériau ne sont initialement pas visibles de l'extérieur. À un stade avancé du dommage, les fissures atteignent la surface de part et d'autre de la roue et entraînent le détachement de larges parties du bandage (voir représentation graphique). Selon l'expérience acquise jusqu'à présent, l'expansion de fissure sur de larges surfaces entraînant rupture et perte de parties du bandage a été observée principalement sur des essieux non freinés par sabot. Cela est probablement lié aux distances de circulation plus élevées avant reprofilage de ces essieux. Lors des reprofilages, les séparations de matériau sous la surface de roulement peuvent devenir visibles. L'étendue de la surface de rupture est d'environ 20 à 30 cm de longueur et peut s'étendre sur toute la largeur du bandage.	
Représentation graphique À gauche : UIC B 169/DT 405 [5] À droite : UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Le long de la circonférence de la roue, principalement zones 1, 3 et 4	
Possibilités de confusion	- Aucun	
Cause possible	- Défaut de fabrication (inclusions non métalliques, irrégularités de structure) - La séparation de matériau sous la surface de roulement peut également être provoquée par des surcharges, sans qu'un défaut de fabrication ne soit constaté	
Méthode de détection	- Contrôle non destructif du matériau, par ex. inspection par ultrasons (UT) - À un stade avancé, détection visuelle à l'œil nu par l'apparition latérale de fissures ou par d'éventuels éclats locaux sur la surface de roulement - À un stade avancé, éclats locaux sur la surface de roulement Par des systèmes de détection fixes sur la voie	
Effets	Matériel roulant : - Rupture de roue Infrastructure : - Aucun Environnement : - Aucun	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : - Remplacement de l'essieu Mesure préventive : - Amélioration du procédé de fabrication - Amélioration des propriétés des matériaux - Amélioration de la mécanique de contact roue-rail - Évitement des surcharges mécaniques / thermiques	
Recommandation	<ul style="list-style-type: none"> Dès que détecté 	Mettre immédiatement hors service et remplacement de l'essieu

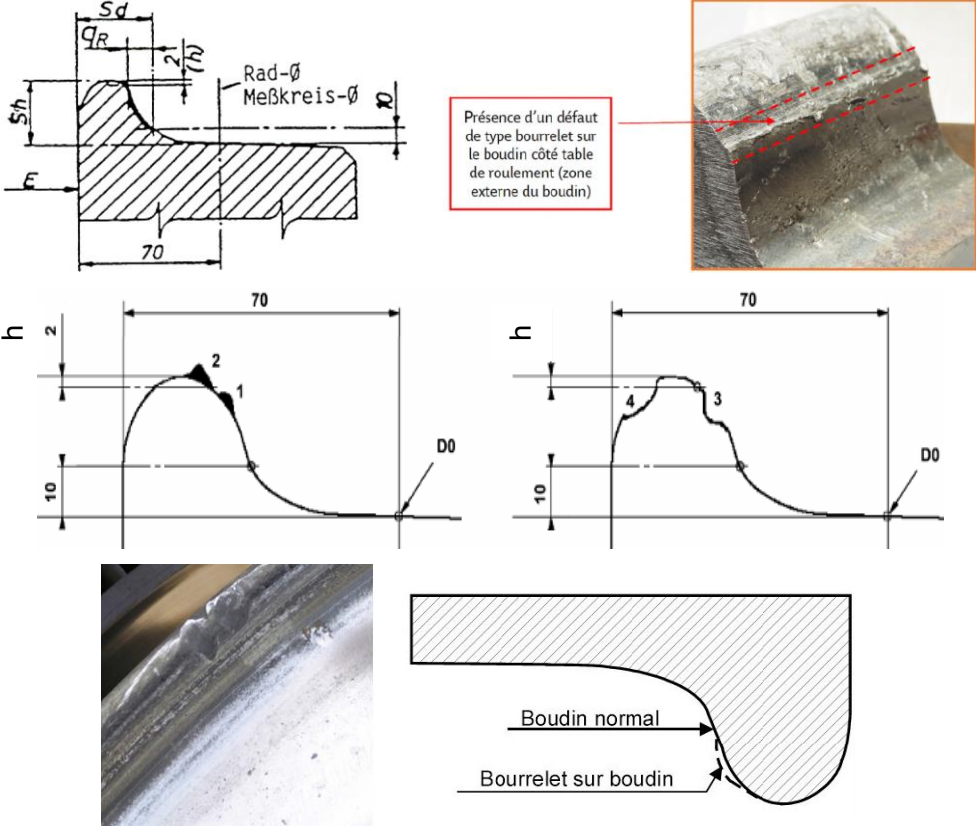
3.3.5 Fissure transversale du chanfrein [Code de défaut : R-1208]

Caractéristique	Le point de départ des fissures transversales du chanfrein se situe sur la face externe du bandage de roue, et continue vers la surface de roulement. Les fissures transversales du chanfrein peuvent apparaître à plusieurs endroits sur toute la circonférence.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Chanfrein, zone 1	
Possibilités de confusion	- Détérioration du chanfrein [Code de défaut : R-1118]	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Semelles de frein usinées - Surcharge thermique due au frein à sabot 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - Visible à l'œil nu - Essais non destructifs (END), par exemple grâce aux contrôles par ultrasons (UT) 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage suivi d'un contrôle des fissures - Remplacement de l'essieu <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Correction des semelles de frein usinées - Contrôle des fissures 	
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de roue <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Dès que détecté	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu - Contrôle par ultrasons (UT) pour vérifier l'absence de fissures

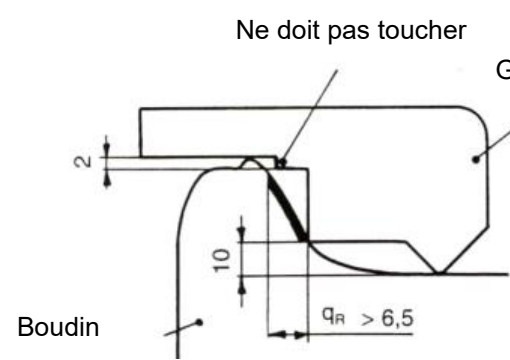
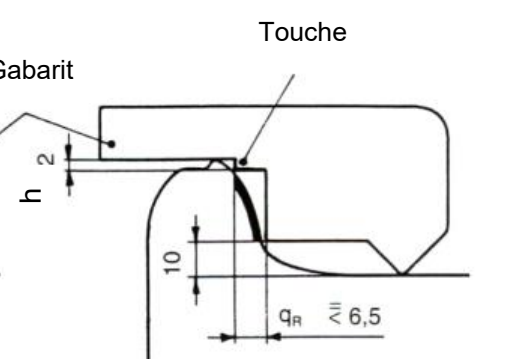
3.3.6 Fissures sur le boudin de roue [Code de défaut : R-1210]

Caractéristique	Le boudin de roue présente des fissures sur le dos et/ou sur le flanc du boudin. Les fissures peuvent apparaître de manière isolée ou multiple sur toute la circonférence de la roue.	
Représentation graphique UIC B 169/DT 405 [5]		
Localisation	- Boudin de roue	
Possibilités de confusion	-	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Formation de fissures sur le dos/flanc du boudin en raison de fortes forces de glissement dû au contact boudin – flanc du rail dans les courbes - Formation de fissures sur le dos du boudin en raison de fortes forces de frottement entre le boudin, et les dispositifs de guidage forcé de la voie (par ex. contre-rail) - Soudages par apport de matière exécutés de manière défectueuse 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu - Contrôle non destructif, par ex. ultrasons (UT) 	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Remplacement de l'essieu Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de roue Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Dès que détecté	Mettre immédiatement hors service et remplacement de l'essieu


3.3.7 Endommagement du sommet du boudin [Code de défaut : R-1211]

Caractéristique	Le boudin présente des endommagements sur son sommet. L'endommagement peut apparaître de manière isolée ou multiple sur la circonférence de la roue.	
Représentation graphique Figure en bas à gauche : SN-EN 15313 [4] Autres figure :AVV [8]	 <p>Présence d'un défaut de type bourrelet sur le boudin côté table de roulement (zone externe du boudin)</p>	
Localisation	- Boudin de roue	
Possibilités de confusion	- Boudin avec formation de rebord (écrasement du sommet du boudin) [Code de défaut : R-1212]	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Chocs dus à des corps étrangers - D'autres causes possibles dont les déraillements ou un mauvais positionnement des éléments de construction dans les aiguillages - Écoulement du matériau sur la face latérale du boudin 	
Méthode de détection	- Visible à l'œil nu	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Remplacement de l'essieu Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Clarification avec l'infrastructure (mauvaise géométrie de contact dans la zone d'aiguillage) 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Déraillement Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Dommages lors du passage sur les aiguillages Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation D'après le RIV [8], valeurs pour voie normale	$h \geq 2\text{mm}$	Mettre immédiatement hors service et reprofiler les roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu
	$1\text{mm} \leq h < 2\text{mm}$	Continuer la marche, planifier le reprofilage des roues (R0) si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu
	$h < 1\text{mm}$	Continuer la circulation et surveiller

3.3.8 Boudin avec formation de rebord (écrasement du sommet du boudin) [Code de défaut : R-1212]

Caractéristique	Le boudin de roue présente une expulsion de matière due à une usure importante boudin. Sous l'effet des fortes forces de contact entre la roue et le rail, le matériau se déforme plastiquement vers le sommet du boudin, entraînant la formation d'un bourrelet.	
Représentation graphique AVV [8]	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Boudin conforme</p>  <p>Boudin</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Boudin non-conforme</p>  </div> </div>	
Localisation	- Boudin de roue	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Endommagement du sommet du boudin [Code de défaut : R-1211] - Association défavorable des profils roue/rail 	
Cause possible	- Usure du boudin de roue (sommet du boudin)	
Méthode de détection	- Visible à l'œil nu	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage (si possible) - Remplacement de l'essieu <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du réglage radial des essieux - Amélioration du matériau de la roue - Vérification de l'efficacité de la lubrification du boudin 	
Effets	<p>Matériel roulant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Déraillement <p>Infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dommages lors du passage sur les aiguillages <p>Environnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation D'après le RIV [8], valeurs pour voie normale	$h \geq 2$ & $q_R \leq 4.5$	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) ou, si nécessaire, remplacement de l'essieu
	$1 \leq h < 2$ & $q_R > 4.5$	Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0) si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu
	$h < 1$ & $q_R > 4.5$	Continuer la circulation et surveiller

3.3.9 Traces de contact radiales et dommages sur la face interne du boudin [Code de défaut : R-1213]

Caractéristique	Ces traces de contact (égratignures, entailles ou empreintes) sont dues aux mécanismes de guidage lors du passage en aiguillage, par exemple contact avec les contre-rails.	
Représentation graphique SN-EN-15313 [4]		
Localisation	- Boudin de roue	
Possibilités de confusion	-	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Corps étrangers dans les dispositifs de guidage du boudin - Géométrie de l'essieu, du profil de roue ou de l'aiguillage hors des tolérances de fonctionnement 	
Méthode de détection	- Visible à l'œil nu	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : <ul style="list-style-type: none"> - Reprofilage - Remplacement de l'essieu Mesure préventive : <ul style="list-style-type: none"> - Clarification avec l'infrastructure (mauvaise géométrie de contact dans la zone d'aiguillage) 	
Effets	Matériel roulant : <ul style="list-style-type: none"> - Déraillement Infrastructure : <ul style="list-style-type: none"> - Dommages lors du passage en aiguillage Environnement : <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	Dès que détecté et si présence de bords tranchants	Mettre immédiatement hors service et reprofilage des roues (R0) – si les dimensions admissibles du boudin sont respectées (voir R RTE 29500 [9]) – ou remplacement de l'essieu
	Si bords non tranchants	Continuer la circulation, planifier le reprofilage des roues (R0) si possible – ou planifier le remplacement de l'essieu

4 Dommages aux rails

4.1 Localisation et codification des dommages de contact mécanique sur la surface de roulement du rail

Pour identifier le type de dommage sur le rail, il est d'abord nécessaire de déterminer la zone en contact direct avec la surface de roulement de la roue et où le dommage apparaît :

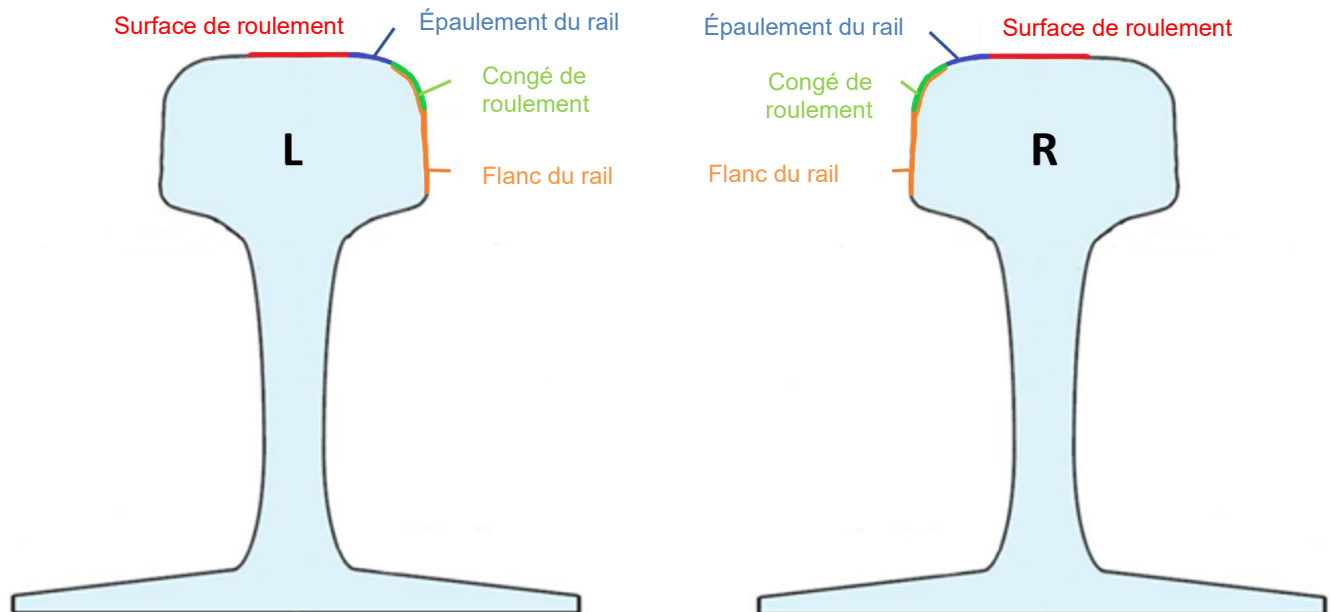


Figure 19 - Coupe transversale du rail (L : rail gauche, R : rail droit)

Surface de roulement

C'est la partie centrale de la tête de rail. Pour le rail 46E1, cette zone est délimitée par les deux rayons R300mm et R80mm.

Épaulement du rail

C'est la partie de la tête de rail qui relie la surface de roulement au congé de roulement. Pour le rail 46E1, cette zone est délimitée par les deux rayons R300mm et R80mm.

Congé de roulement

Le congé de roulement se réfère à la partie de la face interne du rail (dont il fait partie) qui est en contact avec la roue. Pour le rail 46E1, cette zone est délimitée par les deux rayons R80mm et R13mm.

Flanc du rail

Le flanc de rail se réfère aux extrémités latérales de la tête de rail. On distingue les flancs orientés vers le centre de la voie et ceux orientés vers l'extérieur de la voie. Le terme flanc du rail inclut également le congé de roulement. Pour le rail 46E1, cette zone est définie à partir du rayon R13mm.

4.2 Codification des dommages dû à la mécanique de contact sur la surface de roulement du rail

Le Tableau 3 donne un aperçu de la codification selon EN-17397-1¹⁰.

- Le premier chiffre distingue la situation du défaut.
- Le deuxième chiffre distingue la localisation du défaut.
- Le troisième chiffre distingue le motif, le type ou l'origine/causes du défaut.
- Le quatrième chiffre sert à indiquer des propriétés supplémentaires et des distinctions du défaut.

1. Chiffre	2. Chiffre	3. Chiffre	4. Chiffre
Situation	Localisation	Motif, type	
1. Extrémité du rail 2. Rail complet	0. Section complète 1. Champignon du rail 3. Âme 5. Patin du rail	0. Origine inconnue 1. Transversal 2. Horizontal 3. Vertical dans le sens longitudinal 4. Corrosion 5. Percé par un trou traversant 6. Non traversé par un trou 9. Refoulement de matière	Propriétés supplémentaires et distinctions
Situation	Localisation	Motif, type	Pas de position 4.
3. Défauts causés par des dommages au rail	0. Surface complète	1. Entailles/fissures 2. Usinage défectueux 3. Déformation permanente	
Situation	Localisation	Motif, type	
4. Défauts de soudure autogène et/ou de soudure par apport	1. Soudage à l'arc submergé 2. Soudage aluminothermique 3. Soudage à l'arc électrique 4. Soudage autogène 5. Soudage sous gaz de pression 6. Soudage par induction 7. Soudure d'apport 8. Autres procédés de soudage	1. Transversal 2. Horizontal ou écaillage 5. Points d'éclaboussure 7. Formation de fissures et affaïssissement local de la surface de roulement	Propriétés supplémentaires et distinctions

Tableau 3 - Système de codification des défauts de rail selon EN 17397-1

La codification pour le catalogue des dommages liés aux interactions est effectuée conformément à la norme EN-17397-1.

En complément de la codification selon EN 17397-1, le code de défaut de roue est distingué du code de défaut de rail :

- Les codes de défaut précédés de **R** se réfèrent aux **défauts de roue**
- Les codes de défaut précédés de **S** se réfèrent aux **défauts de rail**

La codification des défauts de rail est définie comme suit :

→ Code de défaut : **S**- _ _ _ _

¹⁰ EN-17397-1 Bahnanwendungen – Schienenfehler Teil 1: Handhabung von Schienenfehlern, 2021 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Le Tableau 4 donne un aperçu des dommages pris en compte de la norme EN 17397-1 dans le présent catalogue des dommages liés aux surfaces de contact pour les rails :

S-1_ _ _	Défauts aux extrémités du rail		SN-EN-17397	Catalogue des dommages – Surfaces de contact rail
	S-11_ _ S-12_ _	Champignon du rail	✓	
	S-111_	Fissure transversale	✓	
	S-112_	Fissure horizontale	✓	
	S-113_	Fissure verticale dans le sens longitudinal	✓	
	S-114_	Corrosion	✓	
	S-121_	Défaut de surface	✓	
	S-1211	Exfoliation	✓	✓
	S-1212	Rainure longitudinale	✓	
	S-1213	Refolement de matière sur la surface de roulement	✓	
	S-122_	Écaillage de la surface de roulement	✓	
	S-1221	Exfoliation du congé de roulement type « Shelling »	✓	✓
	S-1222	Écaillage / Exfoliation du congé de roulement type « Flaking »	✓	
	S-1223	Head Check	✓	✓
	S-123_	Compression	✓	✓
	S-124_	Inclinaison locale de la surface de roulement	✓	
	S-125_	Marque de patinage isolée / unique	✓	✓
	S-127_	Squat, fissuration et affaissement local de la surface de roulement	✓	✓
	S-128_	Fissure verticale dans la section du rail	✓	
	S-129_	Refolement de matière continu (inclinaison) de la surface de roulement	✓	
	S-13_ _	Âme	✓	
	S-15_ _	Patin du rail	✓	
S-2_ _ _	Défauts dans le rail complet			
	S-20_ _	Section complète	✓	
	S-21_ _ S-22_ _	Champignon du rail	✓	
	S-211_	Fissure transversale	✓	
	S-212_	Fissure horizontale	✓	
	S-213_	Fissure verticale dans le sens longitudinal	✓	
	S-220_	Usure	✓	
	S-2201	Ondulations en alignement	✓	✓
	S-2202	Ondulations en courbe	✓	✓
	S-2203	Usure latérale excessive	✓	
	S-2204	Usure verticale excessive	✓	
	S-221_	Défauts de surface de roulement	✓	
	S-2211	Exfoliation	✓	✓
	S-2212	Rainure longitudinale	✓	
	S-2213	Refolement de matière sur la surface de roulement	✓	
	S-222_	Défauts du congé de roulement	✓	
	S-2221	Exfoliation du congé de roulement « Shelling »	✓	✓
	S-2222	Écaillage / Exfoliation du congé de roulement « Flaking »	✓	
	S-2223	Head Check	✓	✓


	S-223_	Compression	✓	✓
	S-224_	Inclinaison locale de la surface de roulement	✓	
	S-225_	Marque de patinage	✓	
	S-2251	Marque de patinage isolée / unique	✓	✓
	S-2252	Marques de patinage multiples	✓	✓
	S-227_	Squat, fissuration et affaissement local de la surface roulante	✓	✓
	S-228_	Refoulement continu de matière	✓	
	S-228_	Affaissement local de la surface de roulement par goutte d'eau en tunnel	✓	
	S-23_ _	Âme	✓	
	S-25_ _	Patin du rail	✓	
3	Défauts causés par des dommages au rail		✓	
	S-30_ _	Surface complète	✓	
	S-301_	Entailles / fissures	✓	✓
	S-302_	Usinage défectueux	✓	
	S-303_	Déformation permanente	✓	
4	Défauts de soudure autogène et de soudure d'apport		✓	

Tableau 4 - Les dommages de la norme EN 17397 sont repris dans le catalogue voie métrique (colonne grise). Classification des dommages des rails selon EN 17397


4.3 Compilation des dommages dû à la mécanique de contact sur la surface de roulement des rails

Étant donné que ce rapport se concentre uniquement sur les défauts liés à la mécanique de contact, l'entièreté des défauts du Tableau 3 ne sont pas présentés ni codifiés ci-dessous.

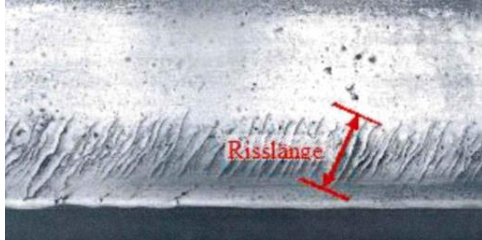



4.3.1 Écaillage et exfoliation sur la surface de roulement « Spalling » [Code de défaut S-1211 / S-2211]

Caractéristique	<p>Le « Spalling », attribuable à la fatigue par contact de roulement, se manifeste initialement par une déformation en forme de vagues de la surface de roulement.</p> <p>Dans les zones peu usées et soumises à des charges élevées, l'écaillage dû à la fatigue par contact de roulement commence généralement sur la surface de roulement du rail intérieur aux courbes, mais il peut également apparaître sur des tronçons en alignement.</p> <p>Il débute sur la surface de roulement du rail et progresse sous forme de perte de matière de la surface du rail.</p> <p>Ces défauts sont visibles, ils ont généralement une faible profondeur, s'étendent principalement dans le sens longitudinal et se relient pour former un réseau de fissures, parfois appelé également « peau de serpent ».</p>	
Représentation Illustration Gauche et centre : EN-17397-1 [10] Droite : Chemins de fer rhétiques		
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> - Surface de roulement du rail intérieur à la courbe, surface de roulement sur tronçons en alignement 	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221] contrairement au « Spalling », le « Shelling » se caractérise par des éclats de matériau sur le congé et l'épaulement du rail 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Tension de contact très élevée - Forces élevées dans le sens longitudinal - Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223] 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu - (Contrôle par ultrasons) ou courant de Foucault 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usinage de la voie (meulage, fraisage) - Démontage de la voie <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maintenance préventive (meulage des rails dès les premiers signes) - Amélioration du matériau du rail 	
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de roulement, composants de bogie desserrés, ruptures de ressorts, rupture de roue <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de rail <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrations, bruit 	
Recommandation	Spalling en phase avancée Profondeur > 5 mm	Fraiser immédiatement les rails ou les remplacer
	Spalling en phase précoce Profondeur nettement inférieure à 5 mm	Prévoir, si possible, un fraisage ou meulage des rails. Sinon, planifier le remplacement des rails.


4.3.2 Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221]

Caractéristique	<p>Le défaut de rail « Shelling » se manifeste par des éclats sur le congé de roulement, initiés à l'intérieur du champignon du rail.</p> <p>Les fissures se forment horizontalement sous la surface au niveau du champ de roulement. On observe à intervalles irréguliers des éclats allongés sur le champ de roulement. Les fissures se propagent de l'intérieur du rail vers la surface, provoquant, à un stade avancé, l'exfoliation du matériau sur le champ de roulement et des affaissements localisés de la surface de roulement.</p>	
Représentation Illustration Image en haut : Engineering Manual Tracks [11] Image en bas : Roland Müller		
Localisation	- Champ de roulement de la tête de rail, généralement sur les rails extérieurs dans les courbes	
Possibilités de confusion	- Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223]	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Stratégie de meulage inadéquats - Stratégies de lubrification inappropriés - Fatigue par contact de roulement - Pression de surface élevée 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu - Contrôle optique automatisé - Contrôle par ultrasons (en cas de fissures) - Contrôle par courant de Foucault 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <p>Selon la profondeur de l'exfoliation de la bande de roulement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surveiller le rail - Programmer de retirer le rail - Retirer immédiatement le rail <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optimiser les stratégies de lubrification - Améliorer l'appariement roue-rail (profils, acier de rail) 	
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de roulement, composants de bogie desserrés, rupture de ressorts, rupture de roue <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de rail <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrations, bruit 	
Recommandation	Exfoliation de la bande de roulement en phase avancée	Fraiser immédiatement le rail (avec contrôle des fissures) ou le remplacer
	Exfoliation de la bande de roulement en phase précoce	Si possible, planifier un meulage ou fraisage du rail (avec contrôle des fissures). Sinon, (si nécessaire) planifier le remplacement du rail

4.3.3 Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223]

Caractéristique Directive 821.2007 [12]	<p>Les fissures de type Head Check apparaissent principalement sur les voies fortement sollicitées, dans des courbes de grand rayon, sur l'épaulement du rail extérieur. Lorsque la profondeur des fissures atteint 3 à 5 mm, leur progression s'accélère. Si plusieurs fissures se rejoignent, cela peut entraîner des spallings / exfoliations ou, dans les cas extrêmes, une rupture du rail. La vitesse de croissance des fissures est toujours supérieure à l'usure du rail. Les fissures ne sont alors jamais entièrement « poncées » par l'usure. Dans les courbes serrées, les Head Checks n'apparaissent pas ou ne se développent pas en raison de l'usure élevée du rail.</p>  <p>Abbildung: Richtlinie 821.2007 [12]</p>		
Représentation Illustration EN-17397-1 [10]	<p>1^{ère} étape de Head Checks</p> <p>Longueur visible des Head checks inférieure à 20mm.</p> 	<p>2^{ème} étape de Head Checks</p> <p>Longueur visible des Head checks supérieure à 20mm. Formation de zones noires le long des fissures. Les fissures s'étendent à l'intérieur de la tête de rail.</p> 	<p>3^{ème} étape de Head Checks</p> <p>Des zones présentant des éclats (« Shelling ») apparaissent. Ces éclats résultent de la convergence des fissures allongées sous la surface.</p> 
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> - Dans les courbes : sur le congé de roulement / l'épaulement du rail du fil extérieur - Dans les lignes droites : sur la surface de roulement des deux rails 		
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221] 		
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Fatigue par contact de roulement - Augmentation des forces tangentielles au contact roue-rail 		
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu pour chaque stade de Head Checks - Avant l'apparition des éclats, à un stade précoce et jusqu'à 5 mm de profondeur : contrôle par courant de Foucault - Contrôle par ultrasons si les fissures dépassent 5 mm de profondeur. L'évaluation précise de la profondeur peut être perturbée par l'effet d'écran des fissures voisines 		
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Surveiller le rail - Reprofilage (meulage ou fraisage) ou remplacement selon la profondeur - Neutralisation d'urgence <p>Mesures préventives :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'adaptation des matériaux roue/rail - Essieux à réglage radial 		
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun effet (Head Check niveau 1) jusqu'à impact sur le confort de roulement, composants du bogie desserrés, ruptures de ressorts, rupture de roue (Head Check niveaux 2 et 3) <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalles intensifs de meulage et fraisage <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun effet (Head Check niveau 1) jusqu'à influence sur le bruit et les vibrations (Head Check niveaux 2 et 3) 		
Recommandation	<p>Head Checks de niveau 3</p>	<p>Meulage ou remplacement immédiat des rails. Si impossible, circulation lente & contrôle et/ou neutralisation jusqu'à élimination.</p>	
	<p>Head Checks de niveaux 1 et 2</p>	<p>Planifier, si possible, le meulage ou le fraisage des rails. Si impossible, prévoir le remplacement des rails.</p>	





4.3.4 Déformation plastique (refoulement de matière – aplatissement – formation de bourrelet) [Code de défaut S-123 / S-223]

Caractéristique	On peut observer un affaissement de la bande de roulement et un élargissement du profil de roulement. Le matériau est déplacé latéralement et, parfois, vers l'extrémité du rail au niveau des joints. Dans les cas extrêmes, un bourrelet peut se former et risque de se détacher du rail.	
Représentation Illustration Image à gauche : EN-17397 [10] Image à droite : Chemins de fer rhétiques		
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> - Surface de roulement - Épaulement du rail - Congé de roulement - Souvent à l'extrémité du rail, derrière le joint de rail dans le sens de la circulation - Autour des soudures aluminothermiques - Pâte de lièvre et contre-aiguille - Pointe de cœur 	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Usure verticale excessive 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Charge d'impact - Déformation plastique - Surcharge par choc, surtout dans les cœurs dans les aiguillages - Exfoliation - Matières des rails trop tendres - Modification de la structure dues aux soudures aluminothermiques (exposition thermique élevée) 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu - Par le bruit lors du passage des trains (Mesure de profil) 	
Mesure corrective immédiate	Mesures correctives : <ul style="list-style-type: none"> - Observer le rail - Eventuellement meuler la bavure - Reprise par soudage d'appoint - Remplacement du rail Mesures préventives : <ul style="list-style-type: none"> - Évaluer la nuance d'acier du rail - Améliorer les procédés de soudage - Éliminer les irrégularités dans le profil de la surface de roulement 	
Effets	Matériel roulant <ul style="list-style-type: none"> - Confort de roulement Infrastructure <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de rail, affaissement de traverses, forte sollicitation du ballast Environnement <ul style="list-style-type: none"> - Vibrations, bruit 	
Recommandation	Déformation plastique stade avancé	Remplacement du rail
	Déformation plastique stade précoce	Si possible, planifier meulage ou fraisage du rail. Sinon, remplacement du rail.


4.3.5 Marque de patinage isolé / unique [Code de défaut S-125 / S-2251] ; Marques de patinage multiples [Code de défaut S-2252]

Caractéristique	<p>Les marques de patinage peuvent apparaître sur toutes les lignes, en particulier dans les zones d'accélération et de freinage, lorsqu'un ou plusieurs essieux moteurs des véhicules / rames patinent. Les marques de patinage se trouvent généralement en vis-à-vis sur les deux rails. Le ou les patinages répétés provoquent une tache durcie de forme ovale ou allongée. Les fissures générées par la sollicitation thermomécanique dans la zone de patinage peuvent se rejoindre et provoquer des éclats de matière sur la surface de roulement. Sous l'effet de la circulation, il se produit progressivement un affaissement de la surface de roulement, entraînant une charge dynamique accrue.</p> <p>Les fissures individuelles peuvent progresser vers le cœur du rail et, en particulier en période de froid, provoquer une rupture verticale permanente.</p> <p>Les marques de patinage peuvent généralement être éliminées par une correction ponctuelle (soudage d'appoint). Seule une extension extrême des dommages ou la concentration des défauts nécessite le remplacement du rail.</p> <p>Les marques de patinage doivent être éliminées dès que possible par soudage d'appoint.</p>	
Représentation Illustration Image à gauche : EN 17397 [10] Image en centre : IRS 70712 [13] Image à droite : RhB	<i>Point de patinage (Propulsion)</i>	<i>Point de patinage (Voie de freinage rapide)</i>
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> - Surface de roulement - Épaulement du rail - Généralement sur les rails à proximité des signaux d'arrêt 	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Écaillage et exfoliation sur la surface de roulement « Spalling » [Code de défaut S-1211 / S-2211] - Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227] 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Pas ou mauvaise régulation de traction ou protection contre le patinage - Patinage des roues - Gestion de friction (mauvaises conditions d'adhérence) 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesures correctives :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observer le rail présentant un aspect ondulé - Éventuellement meuler les légères marques de patinage - Démontez les rails présentant des « fissures en réseau » qui s'étendent depuis la marque de patinage jusqu'au bord de roulement <p>Mesures préventives :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optimisation de la régulation de traction et de la protection contre le patinage - Formation du personnel locomotive 	
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrations, bruit 	
Recommandation	Patinage au stade avancé	Fraisier ou remplacer immédiatement les rails
	Patinage au stade précoce	Planifier, si possible, le meulage ou le fraisage des rails. Sinon, planifier le remplacement des rails.

4.3.6 Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227]


Caractéristique	<p>Cette défaillance se manifeste sur la surface de roulement par un élargissement et un affaissement local de l'épaulement du rail (élargissement en forme de rein de la surface de roulement), accompagné d'une tache sombre et de fissures en arc ou en V. En anglais, « to squat » signifie « s'accroupir ». Comme les squats n'ont jamais été observés dans les tunnels, une part de croissance des fissures est potentiellement accélérée hydrauliquement. Ces fissures se propagent à l'intérieur de la tête de rail. La croissance des fissures commence d'abord à un angle faible par rapport à la surface de roulement. Après avoir atteint une profondeur de fissure de 3 à 5 mm, elles se propagent transversalement vers le bas et peuvent provoquer une rupture du rail.</p> <p>Les squats peuvent être classés en trois catégories selon leur forme et apparaître de manière isolée ou multiple sur le rail.</p>		
Représentation Illustration Squats isolés : Catalogue des défauts de rail [14] Squats multiples : Zentralbahn	<i>Squat isolé</i>		
	Classe 1/A/léger - Petite empreinte - Fissure en surface	Classe 2/B/moyen - Élargissement de la bande de roulement - Fissure en V à la surface	Classe 3/C/fort - Élargissement important de la bande de roulement - Fissure en V et fissure opposée - Éclats de surface
			
<i>Squats multiples</i>			
			
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> - Surface de roulement - Épaulement du rail - En lignes droites ou dans les grands courbes 		
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - « White Etching Layers » – WEL - « Studs » 		
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Fatigue de contact de roulement - Faible résistance du matériau - Beaucoup de causes encore inconnues 		
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu - Contrôle par ultrasons pour déterminer la profondeur de la fissure 		
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Remplacement des rails - Fraisage des rails <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune mesure préventive connue, car l'apparition de squats pour la plupart des chemins de fer à écartement métrique n'a été constatée que rarement jusqu'à présent 		
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de roulement <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rupture de rail <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrations, bruit 		
Recommandation	Squat au stade avancé ou squats multiples		Changement immédiat de rail. Circulation à vitesse réduite jusqu'au remplacement
	Squat au stade précoce	Planifier, si possible, un meulage ou fraisage du rail. Si ce n'est pas possible, planifier le remplacement du rail.	

4.3.7 Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201]

Caractéristique	<p>Les ondulations en alignement sont des défauts de la surface de roulement des rails, qui apparaissent le long du champignon du rail sur les deux fils de rail, principalement sur des sections droites ou presque droites. Elles se caractérisent par des ondulations dont les crêtes sont claires et brillantes. Elles sont marquées par un durcissement de la surface du rail. Les creux des ondulations sont généralement sombres, plus mous et présentent souvent des traces de corrosion. Les ondulations en alignement ont été principalement observées sur les voies à écartement normal, avec une longueur d'onde comprise entre environ 10 et 100 mm.</p> <p>Cela entraîne une augmentation du bruit de roulement et, en raison de charges et de vibrations plus élevées, et d'un accroissement de la maintenance de la voie.</p>	
Représentation Illustration Catalogue des défauts de rail [14]		
Localisation	- Surface de roulement sur les deux rails	
Possibilités de confusion	- Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202]	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Les ondulations en alignement se forment sous des sollicitations dynamiques dans la zone de contact roue-rail, en interaction avec des transformations du matériau et l'usure par abrasion - Patinage longitudinal des roues motrices 	
Méthode de détection	- A l'œil nu, par l'ouïe à l'intérieur du véhicule	
Mesure corrective immédiate	Mesure corrective : - Selon la profondeur des ondulations et les autres dommages : meulage / fraisage Mesure préventive : - Pas encore connue dans le domaine métrique	
Effets	Matériel roulant - Confort de roulement (bruit) Infrastructure - Intervalles de meulage raccourcis Environnement - Bruit	
Recommandation issue de l'écartement standard	Profondeur > 0.15mm ¹	Si possible, planifier le meulage ou fraisage des rails. Sinon, planifier le remplacement des rails.
	Profondeur > 0.07mm ¹	Meulage préventif des rails

¹ Les valeurs limites pour l'écartement métrique sont définies dans le cadre des projets de recherche RAILplus.

4.3.8 Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202]

Caractéristique	<p>Les ondulations en courbe sont des défauts sur la surface de roulement qui apparaissent le long du champignon du rail. Ce défaut se manifeste principalement dans les courbes serrées (jusqu'à env. R=300 m) sur le rail intérieur de la courbe. Caractéristique : la surface de roulement présente des ondulations avec des crêtes très lisse, tandis que les creux sont rugueux, plus clair et plus large que les crêtes.</p> <p>Les longueurs d'onde peuvent atteindre jusqu'à 300 mm pour l'écartement normal et jusqu'à 200 mm pour l'écartement métrique. La cause des ondulations en courbe est le glissement transversal et les forces tangentielles qui résultent des mouvements dans les courbes serrées et très serrées. Cela entraîne une augmentation des émissions sonores à l'intérieur du véhicule ainsi que dans l'environnement. En raison de charges et de vibrations accrues, l'entretien de la voie devient plus important (creux sous les traverses, fines particules de ballast). L'absence d'entretien de la surface de roulement peut provoquer des dommages secondaires dont l'élimination peut nécessiter des efforts considérables.</p>	
Représentation Illustration RAILplus		
Localisation	Principalement sur la surface de roulement du rail intérieur aux courbes et, occasionnellement, sur le rail extérieur à la courbe	
Possibilités de confusion	<ul style="list-style-type: none"> - Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201] 	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Usure dynamique principalement due au glissement latéral - Forces de contact élevées dues à un mauvais appariement des profils roue-rail, à des charges d'essieu élevées et à des guidages de bogie rigides - Déformation plastique de l'ensemble de la surface de roulement du rail - Forces de contact roue-rail éventuellement non optimisées en raison du type de traverses, des attaches ou des semelles 	
Méthode de détection	<ul style="list-style-type: none"> - À l'œil nu, à l'ouïe depuis l'intérieur du véhicule - Wagon de mesure de voie - Appareil de mesure de rugosité des rails 	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selon la profondeur des ondulations en courbe et les autres caractéristiques des dommages (poussière de ballast) : meulage / fraisage ou remplacement du rail nécessaire <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration/optimisation de la rigidité de la voie par des semelles de rail plus souples, augmentation de la dureté du rail, semelles de traverses ou modifications sur les véhicules (p. ex. réglage radial des essieux ou conditionnement du champignon du rail, etc.) 	
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Confort de roulement <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Raccourcissement des intervalles de meulage ou de fraisage <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vibrations, bruit 	
Recommandation issue de l'écartement standard	Profondeur > 0.4 mm ¹¹	Si possible, planifier le meulage ou le fraisage des rails. Si ce n'est pas possible, planifier le remplacement des rails.
	Profondeur > 0.2 mm ¹¹	Meulage préventif des rails

¹¹ Les valeurs limites pour l'écartement métrique sont définies dans le cadre des projets de recherche RAILplus.

4.3.9 Empreintes / Aplatissements [Code de défaut S-301]

Caractéristique	<p>Une empreinte est causée par un corps étranger sur le rail (pièces métalliques, ballast, sable grossier, etc.). Elle peut apparaître de manière continue, isolée ou irrégulière. La corrosion s'accélère au niveau des empreintes si elles ne sont pas éliminées par une usure suffisante (ponçage). Le rail, en présence d'entailles, est soumis à des charges plus élevées, ce qui peut provoquer des fissures et, si elles progressent, entraîner une rupture du rail.</p>	
Représentation Illustration EN-17397 [10]		
Localisation	- Surface de roulement	
Possibilités de confusion	-	
Cause possible	<ul style="list-style-type: none"> - Corps étrangers sur la surface de roulement - Influence de corps étrangers provenant de chantiers 	
Méthode de détection	- Visuel	
Mesure corrective immédiate	<p>Mesure corrective : Selon la profondeur du dommage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Meulage de rail (enlèvement de matière : profondeur du dommage +0,3 mm) - Fraisage du rail (enlèvement de matière : profondeur du dommage +0,3 mm) - Soudage de réparation pour défauts isolés (enlèvement de matière : profondeur du dommage +0,3 mm) - Remplacement du rail <p>Mesure préventive :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle visuel des rails après travaux sur la voie - Prévention du vandalisme - Contrôle visuel après un déraillement 	
Effets	<p>Matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun <p>Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucun 	
Recommandation	<p>Dans le cas où :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Il n'y a pas de réserve d'usure suffisante sur le rail - Les tests à l'ultrasons indiquent que le défaut s'est étendu sur une plus grande surface 	<p>Immédiatement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fraiser le rail (et vérification des fissures) - Remplacement du rail - Sinon circulation lente, voire neutralisation, puis élimination
	<ul style="list-style-type: none"> - Réserve d'usure suffisante sur le rail - Propagation limitée du défaut - Pas d'indication spécifiques lors des ultrasons 	<ul style="list-style-type: none"> - Planifier meulage, fraisage ou soudage de réparation
	<ul style="list-style-type: none"> - Pour des défauts mineurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Observer

4.4 Méthodes d'inspection pour la détection des dommages sur aux rails

4.4.1 Contrôle visuel

Les dommages aux rails sont généralement détectés visuellement lors des rondes de voie effectuées par les responsables de ligne. Grâce aux contrôles fréquents sur les voies de chemins de fer à voie métrique, l'évolution d'un défaut de rail peut généralement être bien suivi. Outre une bonne formation du personnel, il est important de garantir un bon éclairage la nuit ou dans les tunnels afin que les défauts soient bien visibles. Il est recommandé d'alterner les responsables de rondes de voie entre différents inspecteurs et autres personnels, comme les chefs de voie ou les chefs d'équipe, afin d'appliquer le principe des « quatre yeux » également lors des inspections de voie.

4.4.2 Ultrasons (UT)

Le contrôle des rails par ultrasons est fréquemment effectué par les entreprises ferroviaires. Sur les réseaux à voie normale, des trains de contrôle (SPZ) sont utilisés pour détecter les défauts à l'intérieur des rails sur de grandes surfaces grâce à des mesures ultrasonores (SPZ-UT) (défauts situés à plus de 6 mm sous la surface du rail). Les défauts détectés par le SPZ sont ensuite vérifiés manuellement à l'aide d'un appareil de contrôle des rails portatif (SPG). Si nécessaire, le rail doit être sécurisé par des éclisses et, en règle générale, remplacé.

Sur les réseaux à voie métrique, il n'existe pas de trains de contrôle comparables. Cela s'explique par le fait que, en raison des vitesses et charges moindres, les défauts de rail sont généralement moins fréquents, et que les inspections de voie sont effectuées à un rythme relativement plus fréquent que sur les voies normales.

Un futur déploiement de trains de contrôle des rails sera particulièrement nécessaire si les chemins de fer souhaitent réduire le nombre de rondes par les inspecteurs de ligne.

Pour les tronçons avec un nombre élevé de défauts ou avec des défauts difficiles à évaluer, il est recommandé d'effectuer un contrôle avec un SPG. Ainsi, les fissures qui ne peuvent être évaluées ou détectées visuellement peuvent être identifiées de manière fiable et, par exemple, un remplacement de rail peut être initié.

4.4.3 Courants de Foucault (ET)

Sur les réseaux à voie normale, des trains de contrôle des rails équipés de dispositifs de courants de Foucault (SPZ-ET) sont également utilisés. Les mesures par courants de Foucault sur les rails permettent de détecter les défauts proches de la surface, identifiant principalement le défaut « Head-Check » avec une indication précise de la profondeur de la fissure. À partir de cette profondeur, il est possible de déterminer jusqu'où le rail doit être meulé pour éliminer le défaut.

Étant donné que l'apparition de Head-Checks sur les réseaux à voie métrique suisses est jusqu'à présent très faible (ils ne se développent que très peu grâce au « ponçage » dû au passage des trains : sections de voie principalement à voie unique avec circulation dans les deux sens), la nécessité d'un tel contrôle n'est actuellement pas requise.

5 Attribution des dommages à la surface de contact roue-rail

5.1 Dommages dus aux conditions de tracé

Les dommages suivants peuvent être principalement causés par l'exploitation des véhicules (par exemple par les entraînements ou les freins). Pour une explication plus détaillée des causes, voir la description des dommages aux chapitres 3.3 et 4.3.

Surface de contact - roue
Polygones [Code de défaut : R-1105]
Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112]
Head Checks – Fissures dues à la fatigue de contact de roulement (RCF) [Code de défaut : R-1114]
Détérioration du chanfrein [Code de défaut : R-1118]
Fissures sur le boudin de roue [Code de défaut : R-1210]
Endommagement du sommet du boudin [Code de défaut : R-1211]
Boudin avec formation de rebord (écrasement du sommet du boudin) [Code de défaut : R-1212]
Surface de contact - rail
Écaillage et exfoliation sur la surface de roulement « Spalling » [Code de défaut S-1211 / S-2211]
Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221]
Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223]
Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227]
Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201]
Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202]

Tableau 5 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus aux conditions du tracé

5.2 Dommages dus à l'exploitation des véhicules

Les dommages suivants peuvent être principalement causés par l'exploitation des véhicules (par exemple par l'entraînement ou le freinage). Pour une explication plus complète de la cause, voir la description des dommages au *chapitre 3.3* et au *chapitre 4.3*.

Surface de contact - roue
Méplat [Code de défaut : R-1101]
Polygones [Code de défaut : R-1105]
Dépôt de matière [Code de défaut : R-1108]
Refoulement de matière/laminage de matière [Code de défaut : R-1109]
Exfoliation [Code de défaut : R-1111]
Fissures en réseau [Code de défaut : R-1113]
Fissures sur le boudin de roue [Code de défaut : R-1210]
Boudin avec formation de rebord (écrasement du sommet du boudin) [Code de défaut : R-1212]
Traces de contact radiales et dommages sur la face interne du boudin [Code de défaut : R-1213]
Surface de contact - rail
Écaillage et exfoliation sur la surface de roulement « Spalling » [Code de défaut S-1211 / S-2211]
Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221]
Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223]
Déformation plastique (refoulement de matière – aplatissement – formation de bourrelet) [Code de défaut S-123 / S-223]
Marque de patinage isolé / unique [Code de défaut S-125 / S-2251] ; Marques de patinage multiples [Code de défaut S-2252]
Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227]
Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201]
Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202]

Tableau 6 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus à l'exploitation des véhicules

5.3 Dommages dus aux propriétés des matériaux

Les dommages suivants peuvent être principalement causés par les propriétés des matériaux de la roue et du rail. Pour une explication plus complète de la cause, voir la description des dommages dans le chapitre 3.3 et le chapitre 4.3.

Surface de contact - roue
Plats singuliers [Code de défaut : R-1102]
Polygones – Déviations de circularité à courte longueur d'onde [Code de défaut : R-1106]
Dépôt de matière [Code de défaut : R-1108]
Refoulement de matière/laminage de matière [Code de défaut : R-1109]
Exfoliation [Code de défaut : R-1111]
Fissures en réseau [Code de défaut : R-1113]
Head Checks – Fissures dues à la fatigue de contact de roulement (RCF) [Code de défaut : R-1114]
Boudin avec formation de rebord (écrasement du sommet du boudin) [Code de défaut : R-1212]
Surface de contact - rail
Écaillage et exfoliation sur la surface de roulement « Spalling » [Code de défaut S-1211 / S-2211]
Head Check [Code de défaut S-1223 / S-2223]
Déformation plastique (refoulement de matière – aplatissement – formation de bourrelet) [Code de défaut S-123 / S-223]
Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227]
Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201]
Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202]

Tableau 7 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus aux propriétés des matériaux

5.4 Dommages dus à d'autres raisons

Les dommages suivants peuvent être principalement causés par diverses autres raisons. Pour une explication plus complète de la cause, voir la description des dommages dans *le chapitre 3.3* et *le chapitre 4.3*

Surface de contact roue
Plats singuliers [Code de défaut : R-1102]
Excentricité [Code de défaut : R-1103]
Ovalité [Code de défaut : R-1104]
Polygones [Code de défaut : R-1105]
Polygones – Déviations de circularité à courte longueur d'onde [Code de défaut : R-1106]
Déviations de circularité stochastiques [Code de défaut : R-1107]
Dépôt de matière [Code de défaut : R-1108]
Refoulement de matière/laminage de matière [Code de défaut : R-1109]
Écaillage (Spalling) [Code de défaut : R-1110]
Exfoliation [Code de défaut : R-1111]
Empreintes (indentations) sur la surface de roulement de la roue [Code de défaut : R-1112]
Head Checks – Fissures dues à la fatigue de contact de roulement (RCF) [Code de défaut : R-1114]
Fissures transversales de la bande de roulement [Code de défaut : R-1115]
Détérioration du chanfrein [Code de défaut : R-1118]
Cavité/écaillage profond (Shelling) [Code de défaut : R-1119]
Séparation du matériau sous la bande de roulement [Code de défaut : R-1201]
Fissure transversale du chanfrein [Code de défaut : R-1208]
Fissures sur le boudin de roue [Code de défaut : R-1210]
Endommagement du sommet du boudin [Code de défaut : R-1211]
Traces de contact radiales et dommages sur la face interne du boudin [Code de défaut : R-1213]
Surface de contact rail
Exfoliation du congé du rail « Shelling » [Code de défaut S-1221 / S-2221]
Déformation plastique (refoulement de matière – aplatissement – formation de bourrelet) [Code de défaut S-123 / S-223]
Marque de patinage isolé / unique [Code de défaut S-125 / S-2251] ; Marques de patinage multiples [Code de défaut S-2252]
Squat, formation de fissures et affaissement local de la surface de roulement [Code de défaut S-127 / S-227]
Ondulation du rail en alignement [Code de défaut S-2201]
Ondulations en courbe [Code de défaut S-2202]
Empreintes / Aplatissements [Code de défaut S-301]

Tableau 8 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus à d'autres causes

6 Conclusions

6.1 Résumé des résultats principaux

À partir de la littérature existante sur l'écartement normal, les codes d'erreur ont été repris pour l'identification des dommages aux roues et aux rails.

Dans ce catalogue de défauts, l'abréviation R ou S a été ajoutée au code d'erreur afin de distinguer, lors du codage, les défauts affectant les roues et ceux affectant les rails. Le code d'erreur correspond à :

- **R-_____** pour les dommages aux roues
- **S-_____** pour les dommages aux rails

Dans ce document, tous les défauts n'ont pas été pris en compte, mais uniquement ceux causés par la mécanique de contact et apparaissant sur les surfaces de contact roue-rail.

Le catalogue de défauts s'adresse principalement aux ingénieurs des chemins de fer à voie métrique, afin d'évaluer et d'enregistrer les dommages en atelier ou sur la voie à l'aide d'images de référence et de descriptions.

Pour chaque type de dommage, les causes possibles ainsi que les mesures correctives et préventives pour les éviter sont également décrites. De plus, des recommandations sont fournies pour le traitement de chaque défaut.

6.2 Recommandations

Il est recommandé que les ingénieurs des chemins de fer à voie métrique se familiarisent avec ce document.

Cette première version du catalogue de défauts d'interaction peut déjà être utilisée comme document de travail. Il est toutefois très important que le document soit mis à jour grâce aux retours des chemins de fer : d'autres défauts spécifiques à la voie métrique peuvent être ajoutés et certains défauts, s'ils ne sont pas répandus dans le domaine métrique, peuvent être supprimés pour l'avenir. Ainsi, le catalogue de défauts d'interaction peut être utilisé pour diffuser les connaissances sur les dommages liés à la mécanique de contact dans les chemins de fer à voie métrique.

7 Annexes

7.1 Références

- [1] R RTE 41500 : Maintenance d'essieux - Voie métrique
- [2] R RTE 41000 : Maintenance d'essieux - Voie normale
- [3] RAILplus Délivrable P4.2 : Voie ferrée
- [4] EN 15313 : Applications ferroviaires – Exploitation des essieux en service – Maintenance des essieux en exploitation ou déposés
- [5] UIC B 169/DT 405 – Catalogue de défauts roues / essieux Axes / essieux – Partie 1 : Introduction, terminologie, classification des défauts, types de défauts des essieux
- [6] EN 13262 : Applications ferroviaires – Essieux montés et bogies – Roues – Prescriptions pour le produit
- [7] SBB CFF FFS : Instruction de travail Évaluation des surfaces de roulement des essieux
- [8] *AVV : Contrat général pour l'utilisation des wagons de marchandises*
- [9] R RTE 29500 : Standardisation - Essieux et branchement - Voie métrique
- [10] EN-17397-1 : Applications ferroviaires – Défauts de rails Partie 1 : Gestion des défauts de rails
- [11] Engineering Manual Track : TMC 227 Surface Defects in Rails
- [12] Directive 821.2007 Annexe 02 Catalogue de défauts de rails, critères d'évaluation
- [13] IRS 70712 : Défauts de rails
- [14] Catalogue de défauts de rails : Défauts fréquents sur rails et soudures

7.2 Figures

Figure 1: Méthodologie	8
Figure 2: Surface de contact et zone d'interpénétration entre le corps 1 (rail) et le corps 2 (roue)	9
Figure 3: Comparaison entre la surface de contact selon la théorie de Hertz et la surface de contact calculée par la méthode des bandes	9
Figure 4: Représentation des forces dans la surface de contact entre la roue et le rail	10
Figure 5: Exemple de déformation plastique dans la structure micrographique	11
Figure 6: État de contrainte sous la surface de la roue et du rail	11
Figure 7: État de contrainte en dessous de la surface	11
Figure 8: Contraintes dues à la force verticale (à gauche) et à la force tangentielle (à droite).....	12
Figure 9: État de contrainte à la surface	12
Figure 10: Compression et allongement du pneu d'un véhicule routier lors de la traction et du freinage	13
Figure 11: Contraintes de traction et de compression sur la roue et le rail lors de l'accélération (à gauche) et du freinage (à droite).....	13
Figure 12: Effet hydrodynamique comme moteur de la propagation des fissures	14
Figure 13: Direction d'ouverture des fissures et exemples de fissures RCF 3 (à gauche, Roland Müller ; à droite, EN 15313) ; le plan de la jante (zone 3) est indiqué par une flèche	14
Figure 14: Zones 1 et 2 de l'essieu avant dans les courbes	15
Figure 15: Forces d'adhérence et formation de fissures en courbe	16
Figure 16: Zone de contact de la roue	17
Figure 17: Marquage des roues	18
Figure 18: Variation du rayon sur la circonférence des roues selon l'UIC B 169/DT 405	21
Figure 19 - Coupe transversale du rail (L : rail gauche, R : rail droit)	46

7.3 Tableaux

Tableau 1: Description des zones de contact de la roue	17
Tableau 2: Dommages repris du catalogue UIC B 169/DT 405 pour l'écartement métrique (colonne grise). Classification des dommages aux roues selon l'UIC B 169/DT 405.....	20
Tableau 3 - Système de codification des défauts de rail selon EN 17397-1	47
Tableau 4 - Les dommages de la norme EN 17397 sont repris dans le catalogue voie métrique (colonne grise). Classification des dommages des rails selon EN 17397	49
Tableau 5 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus aux conditions du tracé	60
Tableau 6 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus à l'exploitation des véhicules.....	61
Tableau 7 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus aux propriétés des matériaux.....	62
Tableau 8 - Dommages sur la surface de contact roue-rail dus à d'autres causes	63