

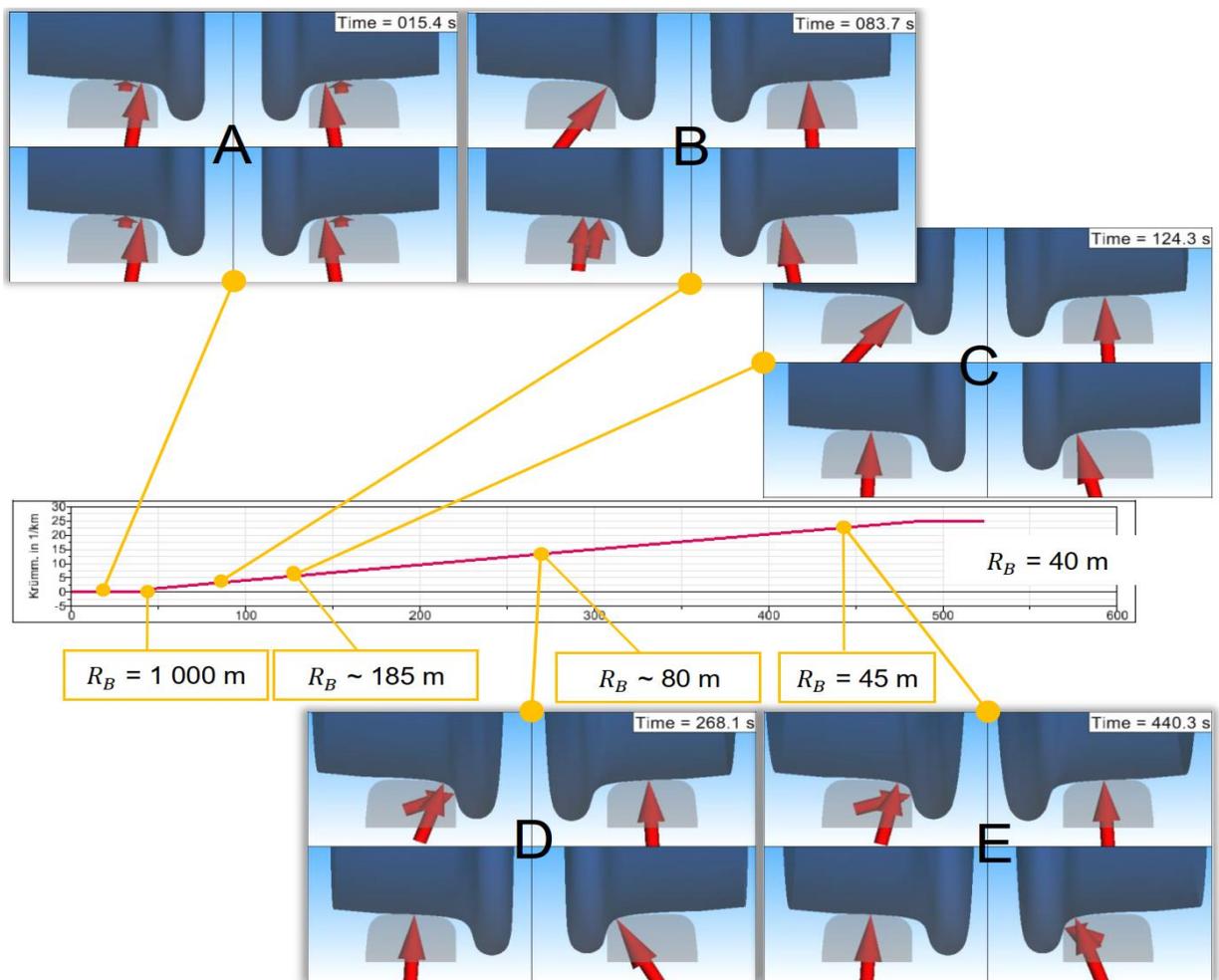
LO 4.5.1 Bases des exigences en matière de sécurité/comportement des véhicules sur la voie et les méthodes de détection correspondantes – voie métrique

Maîtrise de système Interaction Véhicule/Voie ferrée à écartement métrique

Projet : 3 Bases Roue / Rail

Module : 4 Aspect systémique de l'interaction

Rapport technique - traduit «Management Summary»



ID: RAILplusSF-00091
 Date / Statut: 04.07.2025 / Approuvé

Nombre de pages 4

Niveau de confidentialité : Public

Auteur de la traduction: Thao Nhi La / TRAVYS SA

Vérfié: Friedrich-Christian Walther / Zentralbahn

Approuvé: RAILplus

Format de citation : Keudel Johannes, PROSE: *Bases des exigences en matière de sécurité/comportement des véhicules sur la voie ferrée et les méthodes de détection correspondantes – voie métrique*. Spezifikation, **RAILplusSF-00047**, 15.11.2024

La version allemande de ce rapport est l'original et fait donc foi.

Liste des changements

Version	Date	Responsable	Description
V0.1	16.10.2023	J. Keudel	Premier brouillon
V0.2	02.12.2023	J. Keudel	Développement
V0.3	08.04.2024	J. Keudel	Brouillon définitif
V0.4	22.07.2024	J. Keudel	Intégration des avis du P5 et de Stadler Rail
V0.5	13.11.2024	R. Müller	Vérification du rapport
V1.0	15.11.2024	F. Walther	Modification finale et approbation par le chef de projet

Management Summary

Situation initiale

Pour les véhicules de chemin de fer à voie normale, les évaluations dynamiques du comportement en marche sont largement standardisées, notamment par la norme EN 14363 [14]. Pour les rayons de courbe inférieurs à $R_B = 250$ m, un cadre réglementaire complémentaire existe pour la voie normale : le document CEN/TS 17843 [16]. Cependant, les caractéristiques spécifiques des applications en voie métrique — notamment les petits rayons de courbure, les fortes déclivités incluant les systèmes à crémaillère, les vitesses de circulation, l'écartement de la voie, etc. — ne sont pas prises en compte dans ces normes. L'analyse de base réalisée dans le livrable LO 1.2 du projet P1 a mis en évidence des problèmes significatifs, notamment dans les courbes à petits rayons.

Pour les applications en voie métrique en Suisse, une directive de l'OFT [3] est en vigueur, mais elle se concentre exclusivement sur les aspects de sécurité contre le déraillement dans les courbes déformées et les aspects de stabilité de marche. Par conséquent, de nombreux points concernant les vérifications dynamiques pour les véhicules en voie métrique restent non couverts.

L'objectif du présent document est donc de proposer une méthodologie fiable pour les vérifications dynamiques des futurs véhicules ou des transformations de matériel roulant à voie métrique. Il porte en particulier sur les aspects de sécurité de marche, de sollicitation de la voie et de comportement vibratoire. Les aspects économiques sont abordés partiellement ici, mais feront surtout l'objet des livrables LO 6.1.2 et 6.2.1 du projet P3.

Résultats principaux et conclusion

La section 2.3 du présent document propose d'abord une vue d'ensemble systématique des objectifs de sécurité essentiels et des facteurs d'influence côté véhicule et côté voie. Plusieurs de ces objectifs sont connus pour être en conflit les uns avec les autres : par exemple, une faible résistance au pivotement du bogie améliore l'inscription en courbe, mais peut compromettre la stabilité de marche, même pour les vitesses maximales typiques des applications sur voie métrique de 100 ou 120 km/h. Un point reste en suspens concernant le phénomène dit « Cyclic Top » (ligne 7 du tableau 2), qui n'est pas non plus normé pour la voie normale. Les applications métriques peuvent également être concernées par ce phénomène, car la géométrie de la voie présente aussi des irrégularités longitudinales périodiques [12].

Le chapitre 3 regroupe les caractéristiques dynamiquement pertinentes des applications en voie métrique, issues principalement des contraintes géométriques du tracé (rayons de courbe, dévers, pente) mais aussi des types de superstructure. Il inclut également une adaptation appropriée des domaines de tests dynamiques définis dans [14] et [16] aux spécificités des voies métriques.

Le chapitre 4 présente d'abord une proposition de démarche pour l'homologation initiale ou la modification de véhicules existants :

Pour les raisons exposées, il est recommandé que l'homologation initiale s'appuie principalement sur des simulations numériques, complétées par des preuves expérimentales ciblées.

Concernant l'homologation de véhicules similaires ou les modifications de véhicules existants, la norme RTE 49100 [8] impose de déterminer s'il s'agit d'une modification essentielle, nécessitant alors de nouvelles preuves. À ce sujet, le chapitre 4 propose une adaptation de la méthode dite λ (lambda), issue de l'annexe U de l'EN 14363 [14], pour les cas de la voie métrique. Toutefois, pour les véhicules existants en voie métrique, on ne dispose généralement ni de données de mesure dynamiques ni de simulations d'homologation initiale (cf. LO 6.1.2 du projet P3). En l'absence de telles données, de nouveaux essais seraient requis. Afin de répondre à cette exigence formelle, il serait envisageable de reconnaître l'expérience positive d'exploitation en service du véhicule de référence comme base d'application de la méthode λ .

Le chapitre 4 formule également des propositions concrètes quant à l'étendue des vérifications dynamiques nécessaires pour les futurs projets en voie métrique. À cet effet, les principes de la EN 14363 [14] sont adaptés aux conditions spécifiques de la voie métrique.

Sont principalement traités ici : la stabilité de marche, le comportement dynamique (y compris la sollicitation des rails et des roues), la sécurité contre le déraillement en voie sinueuse.

Recommandations

Sur la base des résultats de ce document, les recommandations suivantes sont proposées pour les étapes futures :

- 1) La démarche proposée au chapitre 4 prévoit une homologation initiale principalement basée sur des simulations numériques. Les exigences formulées s'appuient sur la norme EN 14363 [14], éprouvée pour la voie normale, dont les conditions limites sont ici adaptées aux particularités des voies métriques décrites au chapitre 3. Il est recommandé de tester préalablement les scénarios décrits au chapitre 4, par exemple via des simulations réalisées sur du matériel existant à voie métrique (voir point 9 de la section 6).
- 2) Les conditions limites et exigences dynamiques élaborées au chapitre 4 pour la voie métrique devraient être intégrées dans les travaux de la Maîtrise de Système, notamment dans le LO 6.1.2 du projet P3 ainsi que les travaux du projet P5.
- 3) L'évaluation de la sollicitation de la voie par un type de véhicule pourrait, comme suggéré à la section 3.8.1, se faire non pas via un critère de seuil éliminatoire, mais plutôt par une note d'évaluation sur une échelle graduée. Il est recommandé d'examiner la faisabilité d'un tel système d'évaluation.
- 4) La section 4.1.2 recommande que, dans le cas de modifications sans preuve formelle ou d'homologation de véhicules similaires, une exploitation positive avérée du véhicule de référence puisse être acceptée. Pour appliquer cette approche pragmatique, des critères uniformes d'évaluation de l'expérience positive en service pour la voie métrique doivent être définis (voir point 6 de la section 6). Sur la base de ces critères, il est ensuite recommandé de soumettre cette approche aux autorités compétentes (par exemple l'OFT en lien avec [3], ou éventuellement l'UTP pour la RTE 49100 [8]) pour validation.
- 5) Selon la combinaison des caractéristiques véhicule/voie, certaines applications métriques peuvent être sensibles aux efforts longitudinaux, qu'il s'agisse de traction ou de compression (voir par exemple LO 6.1.2 du projet P3). Il est recommandé d'examiner la nécessité et l'ampleur des vérifications liées à la sécurité de marche sous efforts longitudinaux (voir point 4, section 6).
- 6) L'élasticité dynamique dépendant de la fréquence de la voie peuvent influencer sur le comportement fondamental du véhicule (par exemple la stabilité de marche) et sur les interactions roue/rail à haute fréquence (ondulation, etc.). Afin que les simulations dynamiques (notamment MKS – MultiBody Simulation) prennent correctement en compte les spécificités des superstructures métriques, il est recommandé de développer des modèles de voie appropriés (voir point 8, section 6).