

Version réglementation Valable dès le	<b>2-0</b> <b>19.03.2018</b>	Classement de confidentialité Propriétaire Processus Langues	<b>Interne</b> <b>I-AT-FW-TNZ</b> <b>Accès au réseau</b> <b>DE, FR</b>
Divisions Utilisateurs spécifiques/Destinataires Remplace Attribution	<b>Infrastructure, Voyageurs, Cargo</b> <b>Direction des ETF, fabricants de véhicules</b> <b>Version 1-0</b> <b>Cf. chiffre 1.3</b>		

## Accès technique au réseau: réglementation tronçons présentant des courbes d'un rayon inférieur à 250 m (zone d'essai 5)

Exigence Infrastructure pour l'interaction roue-rail: spécifications techniques relatives à l'attestation de comportement dynamique pour la circulation sur des tronçons présentant une forte densité de courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) du réseau ferroviaire à voie normale de CFF Infrastructure et d'autres gestionnaires de l'infrastructure suisses, à l'appui de la norme européenne EN 14363



Figure (fig.) 1: courbe de 200 m suivie d'une contre-courbe de 178 m (source: CFF I-AT-FW-TNZ)

## Table des matières

<b>1.</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>4</b>
1.1.	Situation initiale, objectif .....	5
1.1.1.	Situation initiale.....	5
1.1.2.	Objectif.....	6
1.2.	Champ d'application .....	7
1.3.	Documents de référence et documents annexés.....	9
1.3.1.	Bases pour l'évaluation de l'interaction roue-rail.....	9
1.3.2.	Réglementations.....	10
1.4.	Termes et abréviations .....	11
<b>2.</b>	<b>Praticabilité, tronçons de référence, tracé et vitesse .....</b>	<b>15</b>
2.1.	Praticabilité de tronçons techniquement difficiles présentant de très petits rayons ( $R < 250$ m).....	15
2.2.	Contexte historique .....	15
2.3.	Tronçons de référence pour l'essai de marche lorsque $R < 250$ m.....	16
2.3.1.	Tronçon de référence Bern Fischermätteli – Schwarzenburg .....	16
2.3.2.	Tronçon alternatif Arth-Goldau – Biberbrugg – Einsiedeln.....	17
2.3.3.	Tronçon alternatif Le Day – Le Pont .....	18
2.4.	Tronçon de référence pour l'attestation simplifiée avec $R < 250$ m .....	19
2.4.1.	Tronçon de référence pour l'attestation simplifiée Spiez – Interlaken Ost .....	20
2.5.	Aspects particuliers du tracé et de la superstructure dans les courbes serrées .	21
2.5.1.	Situations particulières dans des installations existantes (chemins de fer alpins) .....	21
2.5.2.	Superstructure dans les courbes serrées .....	23
2.6.	Insuffisance de dévers en zone d'essai 5 .....	24
2.7.	Vitesse et respect des valeurs limites .....	25
<b>3.</b>	<b>Exigences et critères d'évaluation .....</b>	<b>26</b>
3.1.	Forces d'appui et de guidage de la roue autorisées .....	27
3.1.1.	Forces verticales selon les DE-OCF .....	27
3.1.2.	Forces horizontales selon les DE-OCF.....	27
3.1.3.	Forces verticales selon UIC 57B/9-2 et instruction CFF .....	27
3.1.4.	Forces horizontales selon UIC 57B/9-2 et instruction CFF .....	27
3.1.5.	Forces verticales autorisées dans la zone d'essai 5.....	28
3.1.6.	Forces horizontales autorisées dans la zone d'essai 5.....	28
3.2.	Effort de sollicitation de la voie (B) combiné (vertical et horizontal) .....	28
3.2.1.	Effort de sollicitation de la voie quasi-statique pour les locomotives.....	29
3.2.2.	Effort de sollicitation de la voie quasi-statique pour les wagons et voitures.....	29
3.2.3.	Effort de sollicitation de la voie quasi-statique pour les rames automotrices .....	29
3.2.4.	Représentation de la corrélation entre les forces Y, Q et B .....	29
3.3.	Paramètres supplémentaires à documenter concernant la fatigue de la voie .....	30
3.4.	Force de ripage selon les DE-OCF .....	31
3.5.	Quotient de la force de guidage par la force d'appui de la roue.....	32
3.5.1.	Quotient de sécurité au déraillement (Y/Q).....	32
3.5.2.	Quotient pour l'évaluation de la fatigue de la voie (Y/Q).....	33
3.6.	Conditions d'essai pour les sections d'analyse dans les courbes (complétées) .	34
3.7.	Valeurs de mesure à analyser avec valeurs limites pour la zone d'essai 5 .....	35
3.8.	Valeurs de mesure supplémentaires à documenter.....	37
3.9.	Analyse et représentation des résultats de mesure .....	38

3.9.1.	Autres attestations pour la zone d'essai 5 (véhicules ayant déjà subi un essai de marche) .....	39
3.10.	Disposition des essieux de mesure, sens de la marche et configuration des véhicules .....	39
3.10.1.	Sens de la marche .....	40
3.10.2.	Configuration des véhicules .....	40
3.11.	Comportement en cas de défaillance (états de véhicule exceptionnels).....	41
3.11.1.	États de défaillance ayant une incidence en matière de comportement dynamique .....	41
3.11.2.	Défaillance des systèmes actifs .....	41
3.12.	Lubrification des boudins de roue .....	42
3.13.	État de lubrification des tampons et état des attelages.....	42
3.14.	État du véhicule .....	42
3.15.	États de charge.....	43
3.15.1.	États de charge pour les trains à grande vitesse et les trains du trafic grandes lignes.....	43
3.15.2.	États de charge pour les véhicules voyageurs à l'exception des trains à grande vitesse et des trains du trafic grandes lignes .....	44
3.15.3.	États de charge conformément aux DE-OCF .....	44
3.16.	Profil de roue .....	45
3.17.	Facteurs pour la correction de la géométrie de la voie .....	45
3.18.	Simulations .....	45
<b>4.</b>	<b>Index pour la démonstration de la sécurité.....</b>	<b>46</b>
<b>5.</b>	<b>Documentation.....</b>	<b>47</b>
<b>Annexe A Tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon R &lt; 250 m (ensemble du réseau à voie normale).....</b>		
A.1	Carte synoptique des tronçons présentant une forte densité de courbes de très petit rayon R < 250 m.....	48
A.2	Tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon R < 250 m .....	49

## Liste des modifications

Version	Chapitre	Modification
2-0	Tous	Révision dans le cadre de la finalisation des études de base (groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB)
1-0		Première version (31.10.2014)

## 1. Généralités

Le réseau à voie normale suisse, en tant que partie du réseau ferroviaire européen, est par principe interopérable. En Suisse, l'autorité souveraine habilitée à homologuer/autoriser l'utilisation de véhicules ferroviaires est l'Office fédéral des transports (OFT). L'OFT fait partie du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). Il est compétent pour toutes les questions relevant de la politique des transports suisse et octroie par exemple des homologations/autorisations après vérification des attestations remises par le requérant. Le requérant doit quant à lui veiller à ce que ses attestations soient complètes et exactes.

En précisant les conditions-cadres juridiques, la présente réglementation indique au requérant comment démontrer la capacité, du point de vue de la sécurité et de la fatigue de la voie, à parcourir des tronçons présentant des courbes très serrées. Elle tente pour ce faire de mettre en évidence l'ensemble des critères d'évaluation et des exigences possibles pour tous les types de véhicules ferroviaires existants. Pour une appréciation des risques, le requérant doit réaliser des évaluations en conséquence, par exemple quant à la disposition des essieux de mesure ou au dispositif de rame réversible, et les documenter clairement dans une spécification d'essai.

L'attestation relative aux courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) fait partie intégrante de la déclaration de non-opposition à l'interaction roue-rail délivrée par Accès technique au réseau de CFF Infrastructure (cf. chiffre 5.).



Fig. 1-1: tracé typique comportant des courbes techniquement difficiles d'un rayon  $R < 250$  m (source: CFF I-AT-FW-TNZ)

## 1.1. Situation initiale, objectif

### 1.1.1. Situation initiale

Le système ferroviaire suisse se caractérise par un trafic très dense et cadencé. Afin de garantir les correspondances ainsi qu'une utilisation optimale de la capacité sur le réseau à voie normale, les trains doivent pouvoir circuler selon les catégories prescrites dans le tableau des parcours RADN.

L'homologation des véhicules ne peut avoir lieu que sur présentation d'une attestation du comportement dynamique. Les consignes de la norme européenne EN 14363 relatives aux essais de marche des véhicules ferroviaires définissent le contrôle et l'évaluation des véhicules sur des tronçons présentant des courbes d'un rayon supérieur ou égal à 250 m. Toutefois, cette norme ne couvre pas suffisamment les besoins de l'exploitation ferroviaire suisse dans la mesure où l'essai de véhicules sur des tronçons comportant des courbes d'un rayon inférieur à 250 m (très petit rayon) n'est pas défini dans les consignes.

Le tracé du réseau ferroviaire à voie normale de CFF Infrastructure et d'autres gestionnaires de l'infrastructure (GI) suisses présente un nombre relativement important de tronçons comportant des courbes d'un rayon inférieur à 250 m, sur lesquels la conduite est plus difficile que dans d'autres pays européens en raison des vitesses autorisées. C'est pourquoi les conditions-cadres relatives à l'homologation de nouveaux véhicules sont accompagnées d'exigences particulières qui doivent faire l'objet d'attestations spécifiques du comportement dynamique. Les dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF) tout comme la fiche UIC 518 indiquent le domaine à contrôler non visé par la norme (courbes dont le rayon est inférieur à 250 m) – cf. chiffre 3.

Auparavant, les conditions particulières des tronçons étaient prises en considération lors de l'acquisition et de l'utilisation des véhicules. Aujourd'hui, la volonté est de couvrir tous les besoins avec des véhicules standardisés et, souvent, optimisés unilatéralement du point de vue des coûts. C'est pour cette raison que les courbes très serrées d'un rayon inférieur à 250 m (zone d'essai 5) ne sont pas un critère d'homologation international. Pour la conduite sur de tels tronçons, la zone d'essai 5 est toutefois considérée comme un critère technique d'accès au réseau et traitée différemment selon les pays.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Règles techniques nationales notifiées (RTNN) Suisse (CH-TSI LOC&PAS-003).

### 1.1.2. Objectif

De manière générale, il s'agit, lors de l'essai de marche sur des tronçons présentant des courbes d'un rayon inférieur à 250 m, d'apporter la preuve que les véhicules remplissent les exigences fixées en matière de sécurité et de fatigue de la voie. Il faut donc démontrer qu'un véhicule en service répond à toutes les exigences spécifiques du réseau ferroviaire suisse à voie normale pour tous les modes d'exploitation concernés (preuve de fonctionnement).

L'essai de marche dans la zone d'essai 5 se réfère à la norme EN 14363, à l'état de la technique en Autriche, pays dans lequel un essai correspondant est exigé et réalisé de manière systématique depuis de nombreuses années, ainsi qu'aux conclusions des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB. La mesure, l'analyse et l'évaluation des résultats ne sont pas définies par des dispositions normatives et doivent donc être fixées en amont par une spécification d'essai avec l'OFT et Accès technique au réseau de CFF Infrastructure.

L'objectif du présent document est de mettre à la disposition des requérants une réglementation indiquant les spécifications techniques (conditions d'essai et critères d'évaluation) à respecter pour produire l'attestation de comportement dynamique requise pour la zone d'essai 5 sur des tronçons de référence définis. Cette attestation est l'une des pièces exigées pour la délivrance d'une déclaration de non-opposition par CFF Infrastructure dès lors que des tronçons présentant de très petits rayons doivent être parcourus.

Les critères d'essai et les valeurs limites spécifiées dans la présente réglementation ont été vérifiées entre 2014 et 2017 dans le cadre des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB sous la direction de l'OFT.

## 1.2. Champ d'application

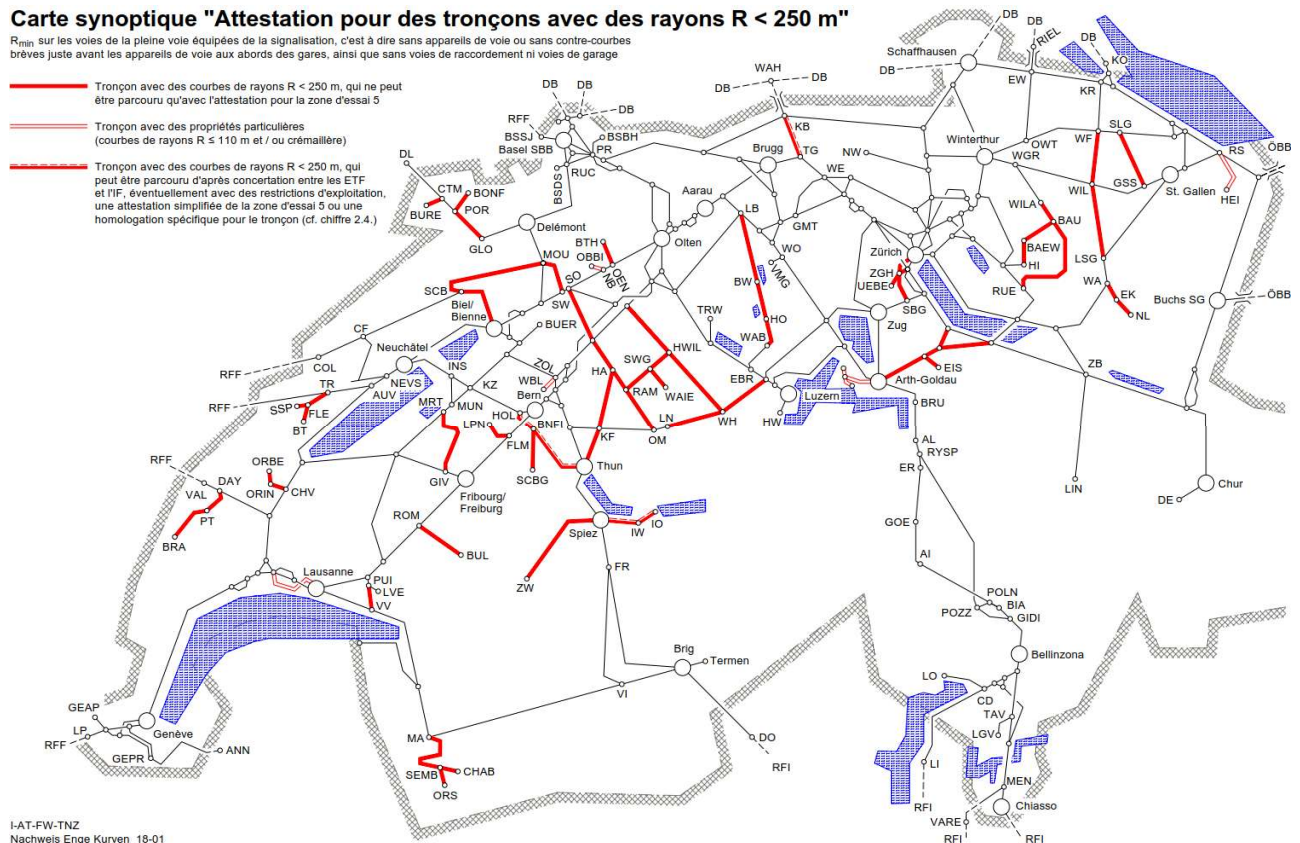
La présente réglementation technique s'applique à l'ensemble du réseau ferroviaire suisse à voie normale de CFF Infrastructure et des autres GI.

Comme la procédure standardisée ne couvre explicitement que les courbes d'un rayon supérieur ou égal à 250 m, l'essai de marche spécifique dans la zone d'essai 5 constituera un défi de taille pour de nombreux véhicules testés selon la norme. Parallèlement, vu que les tronçons présentant de nombreuses courbes d'un rayon inférieur à 250 m sont rares sur les principaux axes du trafic international, un essai pour  $R < 250$  m ne doit être effectué que si le véhicule est destiné à circuler sur un tel tronçon. Par conséquent, les tronçons caractérisés par une forte densité de courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) sont identifiés comme tels par les GI et dotés de conditions spécifiques d'accès au réseau. Sans attestation correspondante, les tronçons signalés en rouge sur la carte ci-après<sup>2</sup> ne peuvent pas être parcourus (ensemble du réseau à voie normale, cf. annexe A):

### Carte synoptique "Attestation pour des tronçons avec des rayons $R < 250$ m"

$R_{min}$  sur les voies de la pleine voie équipées de la signalisation, c'est-à-dire sans appareils de voie ou sans contre-courbes brèves juste avant les appareils de voie aux abords des gares, ainsi que sans voies de raccordement ni voies de garage

- Tronçon avec des courbes de rayons  $R < 250$  m, qui ne peut être parcouru qu'avec l'attestation pour la zone d'essai 5
- Tronçon avec des propriétés particulières (courbes de rayons  $R \leq 110$  m et / ou crémallière)
- Tronçon avec des courbes de rayons  $R < 250$  m, qui peut être parcouru d'après concertation entre les ETF et l'IF, éventuellement avec des restrictions d'exploitation, une attestation simplifiée de la zone d'essai 5 ou une homologation spécifique pour le tronçon (cf. chiffre 2.4.)



I-AT-FW-TNZ  
Nachweis Enge Kurven\_18-01

Fig. 1-2: carte synoptique des tronçons présentant une forte densité de courbes d'un rayon inférieur à 250 m (source: CFF I-AT-FW-TNZ)

<sup>2</sup> Les trois tronçons Spiez – Interlaken Ost, Bern Holligen – Belp – Thun (Gürbetal) et Turgi – Koblenz revêtent une importance particulière pour le trafic international, notamment en raison des éventuels détournements de l'exploitation. D'un commun accord entre l'ETF et le GI, ces trois tronçons peuvent être parcourus avec des restrictions d'exploitation et une attestation simplifiée pour la zone d'essai 5 ou une homologation spécifique pour le tronçon (cf. chiffre 2.4.).

Les anciennes catégories de véhicules, tout comme les véhicules homologués conformément à l'art. 83, al. 4, OCF avant le 1<sup>er</sup> janvier 1999 et qui étaient déjà utilisés dans le même cadre avant la réforme des chemins de fer, restent valables tant que la viabilité technique (p. ex. plus petit rayon de courbure techniquement praticable) et qu'une expérience de service suffisante sur des tronçons correspondants sont garanties. À cet égard, les DE PCT (R I-30111 et R I-30121) doivent être respectées. Diverses restrictions pour les véhicules historiques figurent dans le document R 310.4.

Les mêmes dispositions s'appliquent par analogie aux véhicules homologués après le 1<sup>er</sup> janvier 1999 par l'OFT.

La gestion correcte des tronçons dotés de conditions spécifiques d'accès au réseau est garantie au moyen de la partie B du certificat de sécurité. Les entreprises de transport ferroviaire (ETF) doivent ensuite assurer la gestion opérationnelle.

Des informations détaillées sur les différents tronçons sont fournies dans les bases de données sur les tronçons des gestionnaires de l'infrastructure (GI) ainsi que dans les spécifications locales des DE PCT (R I-30121). Les vitesses de pleine voie sont précisées dans les tableaux des parcours RADN (R I-30131).

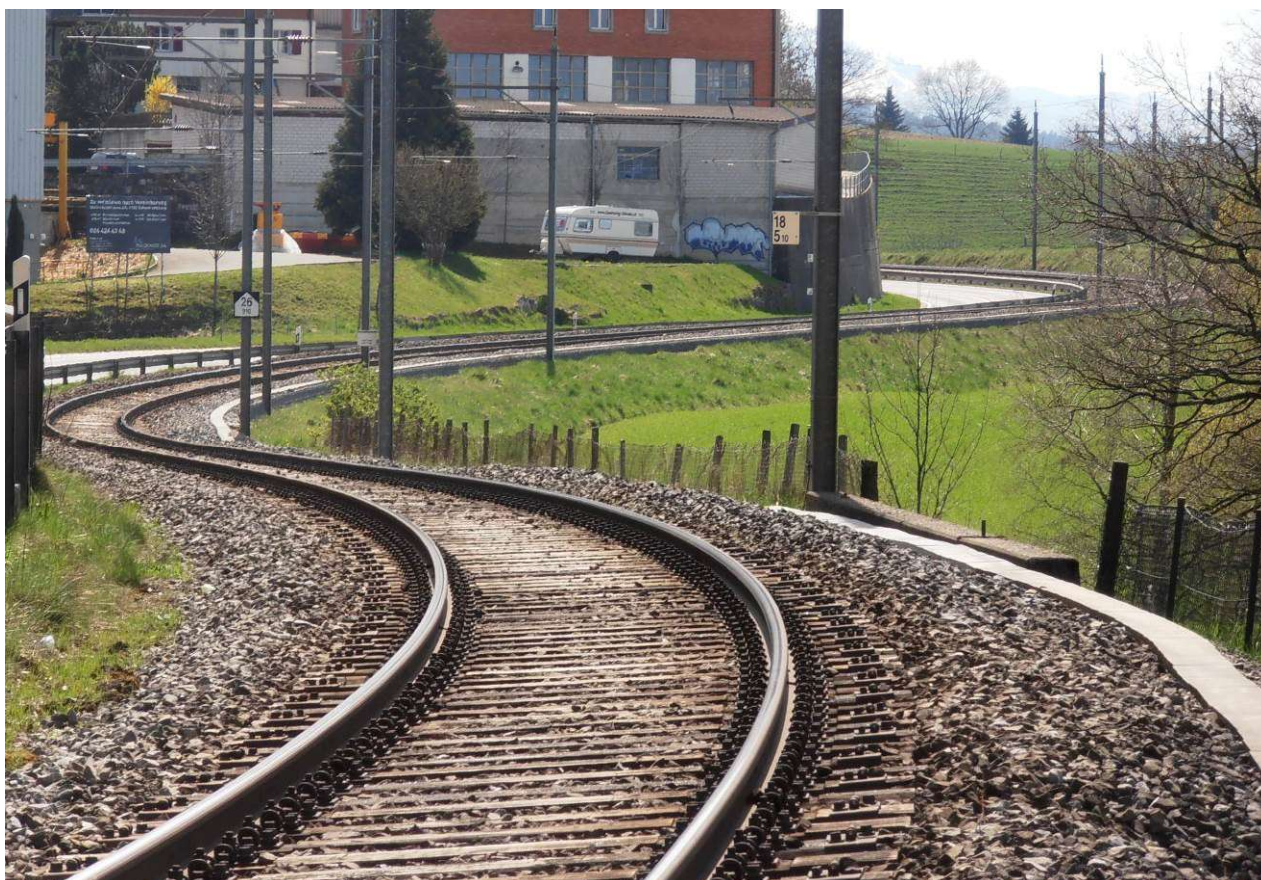


Fig. 1-3: courbes d'un rayon de 201 m et 200 m, séparées par une contre-courbe d'un rayon de 250 m (source: CFF I-AT-FW-TNZ)



### 1.3. Documents de référence et documents annexés

#### 1.3.1. Bases pour l'évaluation de l'interaction roue-rail

Lois et réglementations suisses:

- Ordonnance suisse sur les chemins de fer (OCF)  
Ordonnance sur la construction et l'exploitation des chemins de fer; réf.: 742.141.1  
[Conseil fédéral suisse, 23 novembre 1983 (version du 18.10.2016)]
- Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF);  
réf.: RS 742.141.11  
[Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) – Office fédéral des transports (OFT); version du 1.7.2016]

Normes, fiches et rapports applicables:

- Norme européenne (EN) 14363:2016; Applications ferroviaires –  
Essais en vue de l'homologation du comportement dynamique des véhicules  
ferroviaires  
[Comité Européen de Normalisation (CEN); Bruxelles, mars 2016]
- Norme européenne (EN) 15663:2017; Applications ferroviaires –  
Définitions des masses de référence des véhicules  
[Comité Européen de Normalisation (CEN); Bruxelles, juillet 2017]
- Norme européenne (EN) 16235:2013; Applications ferroviaires –  
Essais en vue de l'homologation du comportement dynamique des véhicules  
ferroviaires – Wagons – Conditions pour la dispense des wagons avec  
caractéristiques définies concernant les essais en ligne selon l'EN 14363  
[Comité Européen de Normalisation (CEN); Bruxelles, octobre 2013]
- Fiche code UIC 518  
Essais et homologation de véhicules ferroviaires du point de vue du  
comportement dynamique - Sécurité - Fatigue de la voie - Qualité de marche  
[Union internationale des chemins de fer (UIC); octobre 2009]
- Rapport technique sur la fiche UIC 518  
Technical report of the Project Group «Development of testing methods»  
[UIC SG3 «Vehicle/Infrastructure Interaction»; janvier 2008]
- Fiche code UIC 502-1  
Transports exceptionnels – Dispositions concernant l'étude et l'exécution des  
transports exceptionnels  
[Union internationale des chemins de fer (UIC); Paris, 3<sup>e</sup> édition, octobre 2013]
- ORE, Question C 138, rapport n° 9  
Valeurs limites admissibles des efforts Y et Q et critères de déraillement  
[Rapport final du comité ORE C 138/RP 9; Utrecht, septembre 1986]

- Question 57B/9-2: Augmentation de la vitesse des trains de marchandises présentant une charge par essieu de 22.5 t – Critères pour la prise en considération de la fatigue de la voie  
Interaction véhicule/voie ferrée; groupe d'étude «Application»  
[Sous-comité mixte UIC 57B; Interaction véhicule/parcours; groupe d'étude «Application»; janvier 1992]
- Groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB  
Mesures roue-rail zone d'essai 5; Rapport de synthèse; Mesures de technique de conduite); rapport n° 02-01194; projet n° 15.067.00  
[PROSE AG; révision 0.00; date d'émission 16.1.2018]
- Groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB  
Groupe de travail R < 250 m (zone d'essai 5); Mesures roue-rail – Clôture des études de base; ateliers 1 à 5)  
[Présentation de synthèse; version 1-0; date d'émission 29.11.2017]

### 1.3.2. Réglementations

#### Réglementations de CFF Infrastructure:

- Réglementation (R) I-22046: Tracé géométrique de la voie à écartement normal  
[Réglementation CFF Infrastructure; version 2-0; date d'émission: 1.1.2013]
- Réglementation (R) I-30111: DE PCT Infrastructure  
[Réglementation valable pour les infrastructures des CFF, de BLS, SOB et ETB]
- Réglementation (R) I-30121: DE PCT – Prescriptions locales pour les trains et les mouvements de manœuvre  
[Réglementation valable pour les infrastructures des CFF, de BLS, SOB et ETB]
- Réglementation (R) I-30131: Tableaux des parcours RADN  
[Réglementation valable pour les infrastructures des CFF, de BLS, SOB et ETB]
- Réglementation (R) I-50064: Accès technique au réseau: réglementation des catégories de ligne: Exigence Infrastructure pour l'interaction roue-rail: spécification technique pour la réalisation de l'interface entre les limites de charge des véhicules et l'infrastructure basée sur la norme européenne EN 15528  
[Réglementation CFF Infrastructure; version 1-0; date d'émission: 17.2.2017]
- Réglementation (R) 310.4: Véhicules historiques  
[Réglementation de CFF Historic; version 2-0; date d'émission: 31.5.2005]
- Instruction CFF DT DG  
Charges par essieu de 22.5 t, critères d'homologation  
[CFF Division des travaux de la direction générale, date d'émission 15.11.1988]
- Instruction CFF «DT DG à TA» (Traction et ateliers)  
Cahiers des charges pour la construction de véhicules moteurs  
[CFF Division des travaux de la direction générale, date d'émission 18.5.1990]

#### 1.4. Termes et abréviations

a	En indice dans les formules: roue située à l'extérieur de la courbe
A	catégorie de train (A), cf. RADN
AB	Appenzeller Bahnen
adm	Admissible
AFE	Agence ferroviaire européenne
al.	Alinéa
$\alpha$ (alpha)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coefficient des forces de ripage (formule de Prud'homme)</li> <li>▪ Angle d'attaque entre la roue et le rail</li> </ul>
$a_q$	Accélération transversale non compensée sur le plan de roulement de la voie
Art.	Article
ASm	Entreprise de transport Aare Seeland mobil
AT	Installations et technologie, secteur d'activité CFF
B	Effort de sollicitation de la voie [kN]
BLS	BLS SA, anciennement Bern-Lötschberg-Simplon
Brut	Masse brute, c'est-à-dire masse du véhicule chargé
C	Catégorie de ligne (charge par essieu: 20 t)
c.-à-d.	C'est-à-dire
CFF	Chemins de fer fédéraux suisses
CH	Suisse
CJ	Chemins de fer du Jura
cont	À contrôler
d	Dévers
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Catégorie de ligne (charge par essieu: 22.5 t)</li> <li>▪ Catégorie de train (D), cf. RADN</li> <li>▪ Documentation</li> </ul>
DE	Dispositions d'exécution
$\Delta$ (delta)	Différence
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DFZ	Véhicule de diagnostic
DG	Ancienne direction générale CFF
DVZO	Dampfbahn-Verein Zürcher Oberland (Association des trains à vapeur de l'Oberland zurichois)
dyn	Dynamique
Échant.	Échantillonnage
EM	Essieu de mesure
EN	Norme européenne

en p.	En particulier
entr	Zone d'entrée
ERRI	European Rail Research Institute/Institut européen de recherche ferroviaire (fournit des informations sur l'état de la technique)
ETB	Emmentalbahn
etc.	et cetera/et ainsi de suite
ETF	Entreprise de transport ferroviaire
excl.	Exclus
f.	Fiche
Fig.	Figure
FW	Unité d'affaires CFF Voie ferrée
$\gamma$ (gamma)	Angle du flanc du boudin
gl	Glissant
h	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Heure</li> <li>▪ Fréquence (statistique)</li> </ul>
HB	Gare principale
Hz	Hertz (unité physique de la fréquence)
i	En indice dans les formules: roue située à l'intérieur de la courbe
I	Division Infrastructure CFF
id	Insuffisance de dévers (correspond à la valeur représentative pour la part d'accélération latérale non compensée par le dévers)
incl.	Inclus
GI	Gestionnaire de l'infrastructure
k	Kilo/millier (en préfixe d'une unité pour indiquer qu'on parle en milliers)
kg	Kilogramme (unité physique de la masse)
km	Kilomètre
kN	Kilonewton
L	Longueur
lim	Valeur limite/limite
m	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mètre (unité physique de la longueur)</li> <li>▪ Milli (en préfixe d'une unité pour indiquer qu'on parle de millièmes)</li> <li>▪ Valeur moyenne (statistique)</li> </ul>
max.	Maximal
min	Minimal
mm	Millimètre
$\mu$ (mu)	Coefficient de frottement
n	Nombre (statistique)
N	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Newton (unité physique de la force)</li> <li>▪ Catégorie de train (N), cf. RADN</li> </ul>

N	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Voie normale</li> <li>▪ Effectif de la population (statistique)</li> </ul>
Net	Masse nette: différence entre la masse du véhicule chargé (masse brute) et le véhicule vide en état de fonctionner (tare)
N°	Numéro
O	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contour de référence selon l'OCF pour les parties hautes</li> <li>▪ Catégorie de train (O) du SOB, correspondant à la catégorie de train R du point de vue du comportement dynamique</li> </ul>
ÖBB	Chemins de fer autrichiens
OC	Chemin de fer Orbe-Chavornay
OCF	Ordonnance sur les chemins de fer
OeBB	Oensingen-Balsthal-Bahn AG
OFT	Office fédéral des transports (fait partie du DETEC/autorité de surveillance nationale pour la Suisse)
ORE	Office de Recherches et d'Essais de l'Union internationale des chemins de fer (UIC)
P/P <sub>F</sub>	Charge par essieu verticale (poids par essieu) [t]/[kN]
Pce	Pièce
PCT	Prescriptions de circulation des trains
PEL	Profil d'espace libre
p. ex.	Par exemple
Q	Charge de roue verticale [t] / force d'appui de la roue [kN]
qst	Quasi-statique
R	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rayon de courbure/rayon [m]</li> <li>▪ Catégorie de train (R), cf. RADN</li> <li>▪ Réglementation</li> </ul>
RADN	Tableaux des parcours selon R I-30131 avec les vitesses pour les différentes catégories de train (pour les catégories de ligne, cf. R I-50064): R: catégorie de train pour les trains de voyageurs A: catégorie de train pour les trains de marchandises avec une charge par essieu ≤ 20.0 t D: catégorie de train pour les trains de marchandises avec une charge par essieu ≤ 22.5 t N: catégorie de train pour les trains pendulaires
RB	Rigi-Bahnen AG (Arth-Rigi-Bahn et Vitznau-Rigi-Bahn)
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn
réd.	Réduit
RS	Recueil systématique de la Confédération suisse
RTNN	Règles techniques nationales notifiées émises par l'autorité de surveillance nationale Les RTNN sont des exigences nationales divergeant des exigences des STI et qui édictent les règles en matière de sécurité ferroviaire et de compatibilité spécifiques au pays.

s	Seconde (unité physique du temps)
SA	Société anonyme
SAn	Section d'analyse
$\Sigma$ (sigma)	Somme
SOB	Schweizerische Südostbahn
STB	Sensetalbahn
STI	Spécifications techniques d'interopérabilité, élaborées par divers comités et publiées par l'AFE Dans les pays membres de l'UE, les STI doivent être transposées en droit national. Le 1 <sup>er</sup> juillet 2013, la Suisse a repris dans le cadre de la réforme des chemins de fer 2.2 une sélection des STI.
SZU	Sihltal Zürich Uetliberg Bahn
t	Tonne
T	Force longitudinale à la roue [kN]
TA	Traction et ateliers, ancien secteur d'activité CFF
Tab.	Tableau
Tare	Masse du véhicule prêt à fonctionner vide (sans chargement)
TEC	Technique, service de l'unité d'affaires CFF FB
TL	Transports publics de la région lausannoise
TMR	Transports de Martigny et Régions
TNZ	Accès technique au réseau, sous-service de l'unité d'affaires CFF FW
tot.	Total
TPF	Transports publics fribourgeois
transN	Transports Publics Neuchâtelois
TRAVYS	Transports Vallée de Joux – Yverdon-les-Bains – Ste-Croix (y c. ancienne société OC)
TSOL	Société du tramway du sud-ouest lausannois SA (propriétaire de la ligne de chemin de fer urbain Renens – Lausanne Flon jusqu'en 2012, date de la fusion avec les TL)
U	Contour de référence selon l'OCF pour les parties basses
UE	Union européenne
UEW	Surveillance, unité d'affaires des CFF (responsable du diagnostic et de l'évaluation de l'état des installations de l'infrastructure)
UIC	Union internationale des chemins de fer
V/v	Vitesse [ $V = \text{km/h}$ / $v = \text{m/s}$ ]
VR	Voie de raccordement
x	Longueur de progression
Y	Force de guidage horizontale sur la roue (force de guidage de la roue) [kN]
ZE	Zone d'essai

## 2. Praticabilité, tronçons de référence, tracé et vitesse

### 2.1. Praticabilité de tronçons techniquement difficiles présentant de très petits rayons ( $R < 250$ m)

La capacité générale d'un véhicule ferroviaire, du point de vue du comportement dynamique, à parcourir des tronçons typiques comportant de très petits rayons ( $R < 250$  m) doit être prouvée – dès que l'exploitation le permet – sur le tronçon de référence présenté au chiffre 2.3.1. Si ce tronçon ne peut être parcouru pour des raisons imprévues, il est possible d'opter pour l'un des deux tronçons alternatifs après entente avec Accès technique au réseau de CFF Infrastructure. Les trois tronçons évoqués sont représentatifs de tous ceux comportant une forte densité de courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m). CFF Infrastructure et les autres GI suisses se réservent le droit de définir à l'avenir de nouveaux/d'autres tronçons de référence.

### 2.2. Contexte historique

Auparavant, les conditions particulières des tronçons étaient prises en considération lors de l'acquisition et de l'utilisation des véhicules. Le réseau ferroviaire de CFF Infrastructure et d'autres GI suisses présente un nombre relativement important de tronçons comportant des courbes d'un rayon inférieur à 250 m, dont il était autrefois tenu compte au niveau de la construction des véhicules ainsi que par des essais spécifiques. L'actuelle procédure de test internationale, standardisée et non liée aux tronçons, ne couvre explicitement que les rayons de courbe supérieurs ou égaux à 250 m. L'origine de cette situation remonte à environ 25 ans, lors de l'élaboration de la fiche UIC 518: les intérêts des chemins de fer alpins n'étaient représentés au sein du groupe de travail que par quelques pays qui ne sont pas parvenus à s'imposer face aux grandes nations, c.-à-d. qui n'ont pas réussi à inclure dans la norme une attestation pour les tronçons dotés de rayons inférieurs à 250 m (zone d'essai 5) comme plus petit dénominateur commun pour l'utilisation internationale (interopérabilité)<sup>3</sup>. De récentes expériences ont clairement montré qu'il était pertinent et nécessaire de tenir compte des particularités suisses en matière de comportement dynamique pour l'évaluation des véhicules, et de considérer la circulation sur les tronçons concernés comme un critère technique d'accès aux tronçons<sup>4</sup>. De même, les véhicules amenés à circuler p. ex. en Autriche<sup>5</sup> sur des tronçons présentant des rayons inférieurs à 250 m doivent eux aussi, pour obtenir leur homologation, subir un essai complémentaire non couvert explicitement par la réglementation internationale.

<sup>3</sup> À l'époque, on ne disposait pas d'études suffisantes pour permettre de définir des valeurs limites «généralement» applicables.

<sup>4</sup> OCF, art. 47, chiffre 1: les véhicules doivent être construits compte tenu de la superstructure, des ouvrages d'art et des conditions d'exploitation.

<sup>5</sup> Cf. réglementation 50.02.01 ÖBB-Infrastructure: Cahier des charges pour les véhicules moteurs, les rames automotrices et les voitures.

### 2.3. Tronçons de référence pour l'essai de marche lorsque $R < 250$ m

Afin de tester tous les véhicules possibles, l'essai de marche doit être programmé sur le tronçon de référence validé pour la catégorie de ligne D et pour les trains à deux niveaux (2.3.1.). Si cela n'est pas possible et à condition que les propriétés du véhicule le permettent, il est également possible de parcourir l'un des deux tronçons alternatifs.

#### 2.3.1. Tronçon de référence Bern Fischermätteli – Schwarzenburg

Numéro de tronçon OFT:	297.2
Gestionnaire de l'infrastructure:	BLS Netz AG
Catégorie de ligne:	D3
Profil d'espace libre (contour de référence):	OCF O2/U1 (compatible aux véhicules à deux niveaux)
Longueur du tronçon (L):	~ 17 km
Plus petit rayon de courbure ( $R_{\min}$ ):	179 m (pleine courbe)
Rayon de courbure moyen ( $R_m$ ):	~ 197 m
Nombre de sections avec $R < 250$ m:	~ 68 sections de 50 m (40 – 60 m / $L_{\text{tot}} \geq 40$ m) ~ 54 sections avec $L_{\text{entr}} \leq 20$ m selon chiffre 3.6.
Nombre de sections d'analyse (N):	~ 408 / ~ 324 sections sans / avec $L_{\text{entr}}$ (utilisation multiple: 2 directions, 3 plages de vitesse)

Nr.	Str-km [-]	R<250 [m]	$V_R$ [km/h]	$\ddot{u}$ [mm]	$\ddot{u}_f$ [mm]	aq [m/s <sup>2</sup> ]	L [m]
1	3.667	197	55	60	121	0.79	156
2	4.389	-195	55	-100	-83	-0.54	4
3	6.310	245	55	100	46	0.30	165
4	6.646	190	55	75	113	0.74	72
5	6.795	-181	55	-78	-119	-0.78	249
6	7.134	190	55	74	114	0.74	84
7	8.096	-220	60	-74	-119	-0.78	27
8	9.027	197	60	120	96	0.63	149
9	11.017	195	60	114	104	0.68	0
10	11.136	-195	55	-120	-63	-0.41	45
11	11.355	200	60	120	92	0.60	63
12	13.120	-198	55	-94	-86	-0.56	157
13	13.403	198	55	110	70	0.46	165
14	13.683	-201	55	-112	-66	-0.43	193
15a	13.992	206	55	122	51	0.33	59
15b	14.051	190	55	122	66	0.43	53
16	14.228	-185	55	-126	-67	-0.44	187
17	14.746	-235	55	-110	-42	-0.27	17
18	14.867	199	60	94	119	0.78	210
19	15.848	200	60	100	112	0.73	57
20	16.065	-199	60	-92	-121	-0.79	172
21	16.349	179	55	86	114	0.74	304
22	17.682	198	50	100	49	0.32	27
23	18.461	-200	60	-96	-116	-0.76	18
24	18.929	-200	60	-117	-95	-0.62	137
25	19.257	200	55	117	61	0.40	59
26	20.037	-193	60	-122	-98	-0.64	95
27a	20.258	200	60	120	92	0.60	233
27b	20.491	196	60	120	97	0.63	98

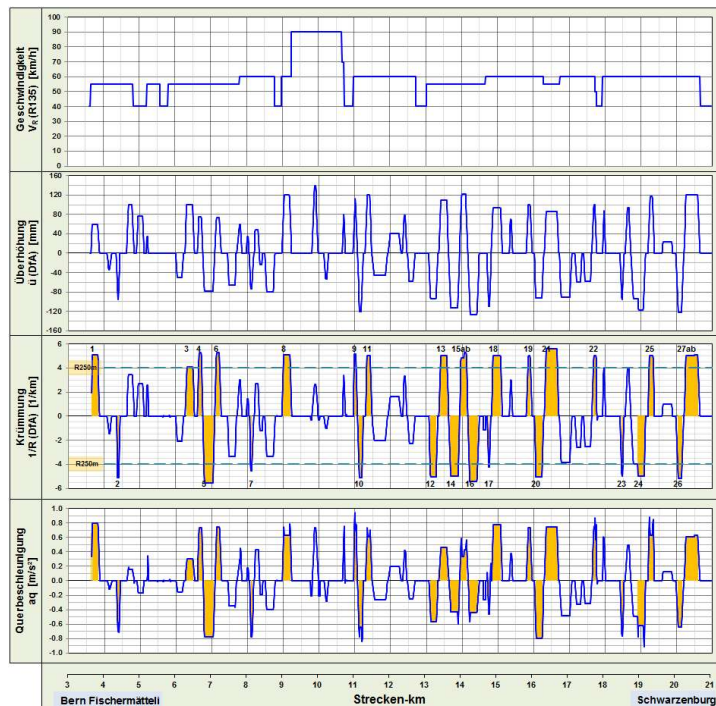
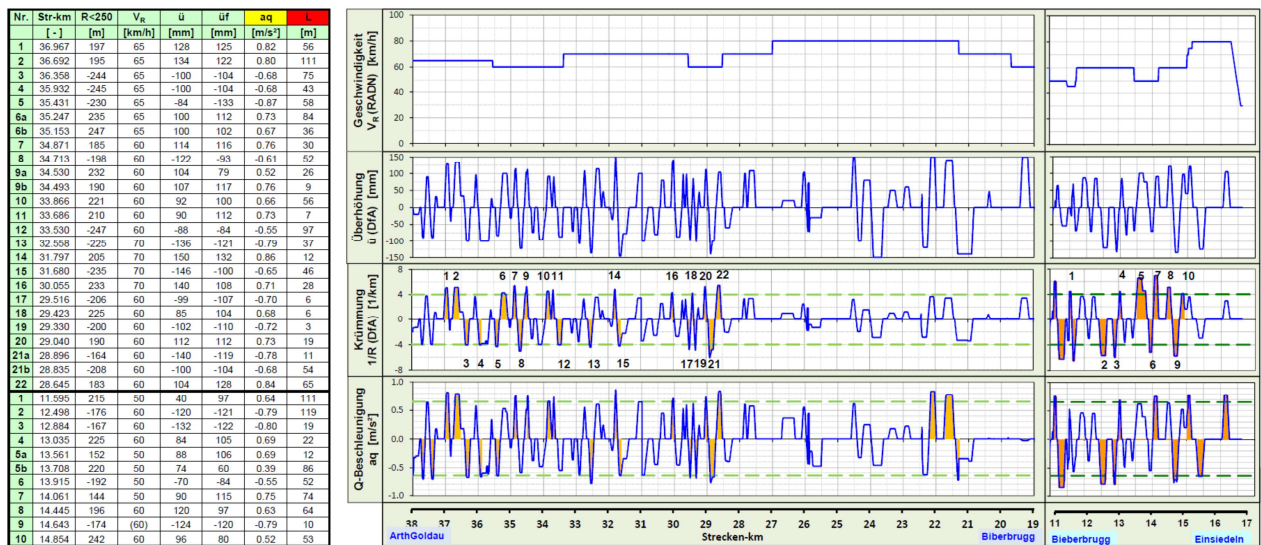


Tableau (Tab.) 2-1: propriétés du tronçon de référence Bern Fischermätteli – Schwarzenburg (état: 12.2.2018)



## 2.3.2. Tronçon alternatif Arth-Goldau – Biberbrugg – Einsiedeln

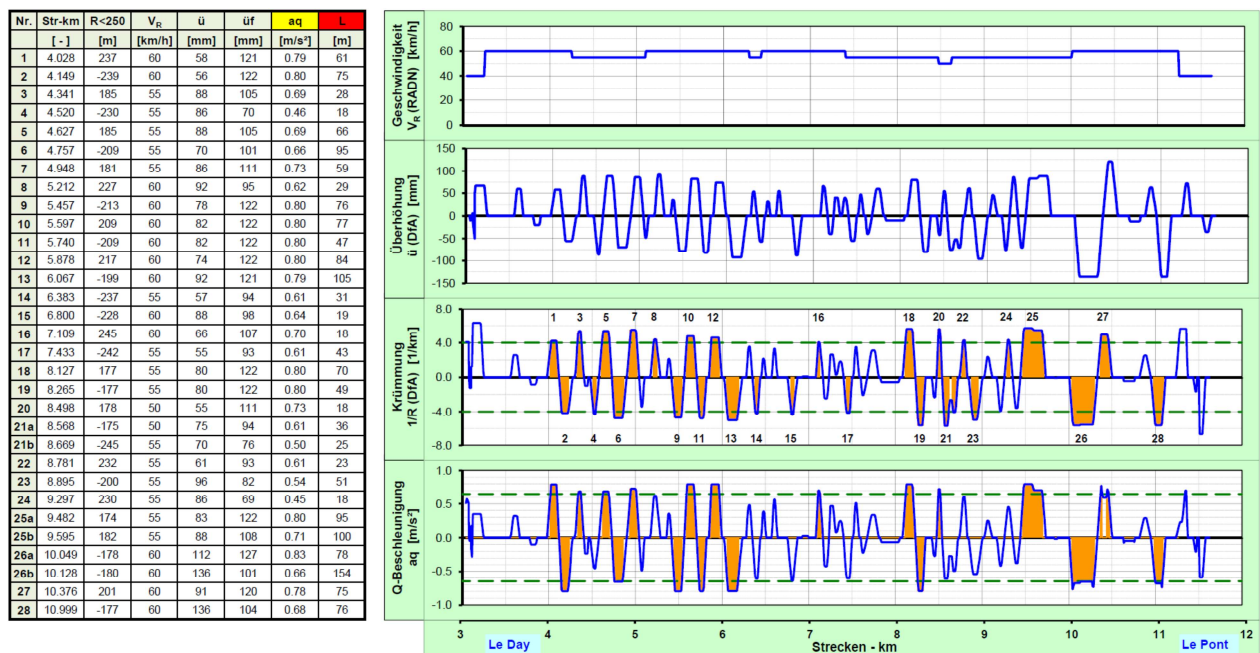
Numéro de tronçon OFT:	670.4 (Arth-Goldau – Biberbrugg) 672.2 (Biberbrugg – Einsiedeln)
Gestionnaire de l'infrastructure:	SOB
Catégorie de ligne:	D4
Profil d'espace libre (contour de référence):	OCF O2/U1 (compatible aux véhicules à deux niveaux)
Longueur du tronçon (L):	~ 25 km (~ 19 + 6 km)
Plus petit rayon de courbure ( $R_{min}$ ):	144 m (pleine courbe)
Rayon de courbure moyen ( $R_m$ ):	~ 206 m
Nombre de sections avec $R < 250$ m:	~ 25 (~15 + 10) sections de 50 m (40 – 60 m / $L_{tot} \geq 40$ m) ~ 13 sections avec $L_{entr} \leq 20$ m selon chiffre 3.6.
Nombre de sections d'analyse (N):	~ 150 / ~ 78 sections sans / avec $L_{entr}$ (utilisation multiple: 2 directions, 3 plages de vitesse)



Tab. 2-2: propriétés du tronçon alternatif Arth-Goldau – Biberbrugg – Einsiedeln (état: 23.6.2014)

## 2.3.3. Tronçon alternatif Le Day – Le Pont

Numéro de tronçon OFT:	201.1
Gestionnaire de l'infrastructure:	CFF Infrastructure
Catégorie de ligne:	C3
Profil d'espace libre (contour de référence):	OCF O1/U1
Longueur du tronçon (L):	~ 9 km
Plus petit rayon de courbure ( $R_{\min}$ ):	150 m (pleine courbe)
Rayon de courbure moyen ( $R_m$ ):	~ 195 m
Nombre de sections avec $R < 250$ m:	~ 28 sections de 50 m ( $40 - 60$ m / $L_{\text{tot}} \geq 40$ m) ~ 19 sections avec $L_{\text{entr}} \leq 20$ m selon chiffre 3.6.
Nombre de sections d'analyse (N):	~ 168 / ~ 114 sections sans / avec $L_{\text{entr}}$ (utilisation multiple: 2 directions, 3 plages de vitesse)



Tab. 2-3: propriétés du tronçon alternatif Le Day – Le Pont (état: 23.6.2014)

## 2.4. Tronçon de référence pour l'attestation simplifiée avec $R < 250$ m

L'attestation relative aux courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) du réseau ferroviaire de CFF Infrastructure et d'autres GI ne doit être produite que si le véhicule doit parcourir des tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon  $R < 250$  m. Il peut donc suffire, en fonction des véhicules et des projets (p. ex. pour le trafic international), de produire seulement une attestation simplifiée pour que le véhicule parcoure les trois tronçons Spiez – Interlaken Ost, Bern Holligen – Belp – Thun (Gürbetal) et Turgi – Koblenz. Ces tronçons revêtent une importance particulière pour le trafic international, notamment en raison des éventuels détournements de l'exploitation. Après entente entre l'ETF et le GI, les trois tronçons peuvent être parcourus avec des restrictions d'exploitation et une attestation simplifiée pour la zone d'essai 5 ou une homologation spécifique pour le tronçon.

L'attestation simplifiée relative aux courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) doit être produite sur le tronçon de référence défini à cet effet, à savoir Spiez – Interlaken Ost:

- zone d'essai 4<sup>6</sup> selon la norme EN 14363  
et
- zone d'essai 5 selon la présente réglementation.

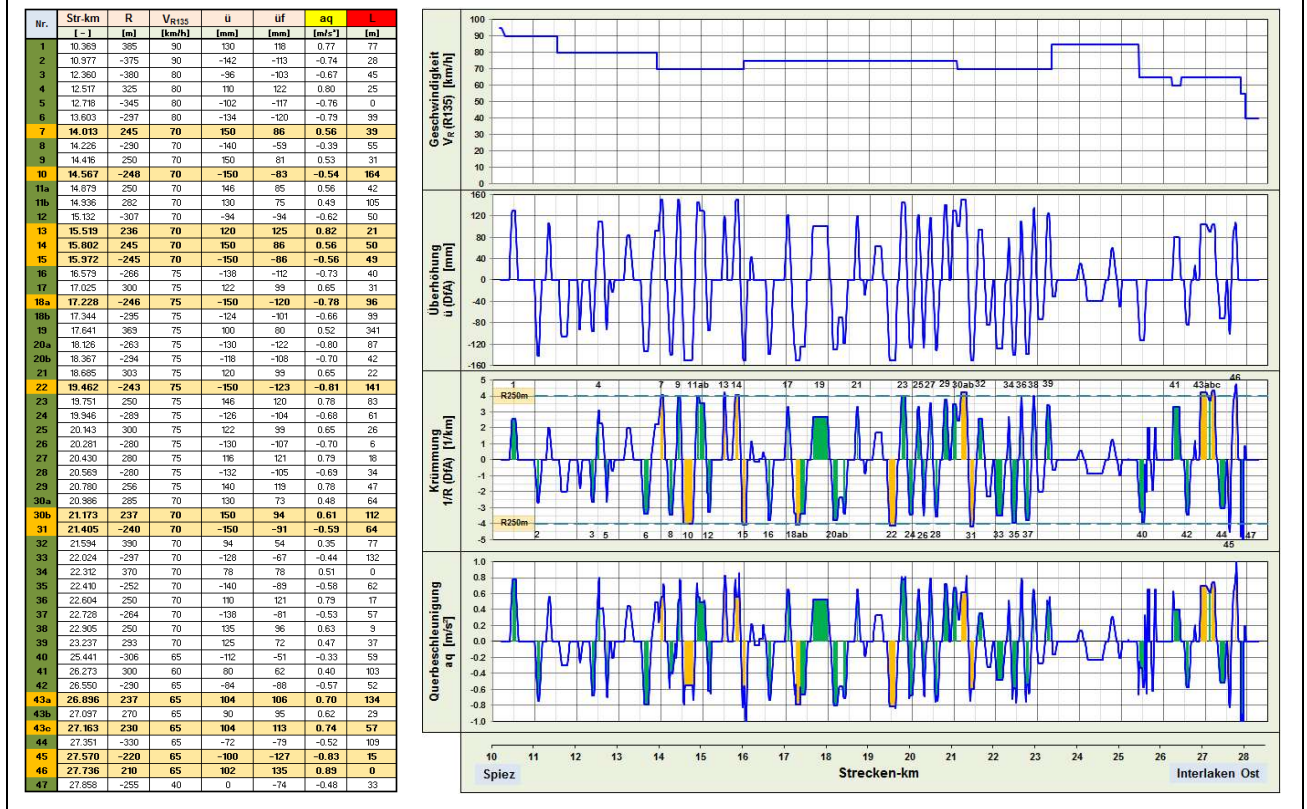
L'analyse statistique de l'essai de marche et l'évaluation du comportement dynamique qui en découle sont réalisées de façon distincte entre les sections ZE 4 et ZE 5.

---

<sup>6</sup> Les sections de la zone d'essai 4 sur le tronçon Spiez – Interlaken Ost doivent autant que possible faire l'objet d'une analyse statistique commune avec avec d'autres sections ZE 4 sur d'autres tronçons (le nombre de ces sections d'analyse ne permet pas d'obtenir des statistiques pertinentes pour la ZE 4 – cf. chiffre 2.7.).

2.4.1. Tronçon de référence pour l'attestation simplifiée Spiez – Interlaken Ost

Numéro de tronçon OFT:	301.2
Gestionnaire de l'infrastructure:	BLS Netz AG
Catégorie de ligne:	Spiez – Interlaken West: D3 Interlaken West – Interlaken Ost: D2
Profil d'espace libre (contour de référence):	OCF O2/U1 (compatible aux véhicules à deux niveaux)
Longueur du tronçon (L):	~ 17 km
Plus petit rayon de courbure ( $R_{min}$ ):	210 m (pleine courbe)
Rayon de courbure moyen ( $R_m$ ):	~ 242 m (sections de la zone d'essai 5)
Nombre de sections avec $R < 250$ m:	~ 18 sections de 50 m (40 – 60 m / $L_{tot} \geq 40$ m) ~ 12 sections avec $L_{entr} \leq 20$ m selon chiffre 3.6.
Nombre de sections d'analyse (N):	~ 108 / ~ 72 sections sans / avec $L_{entr}$ (utilisation multiple: 2 directions, 3 plages de vitesse)



Tab. 2-4: propriétés du tronçon de référence pour l'attestation simplifiée Spiez – Interlaken Ost (état: 12.2.2018)

## 2.5. Aspects particuliers du tracé et de la superstructure dans les courbes serrées

Conformément à la réglementation CFF I-22046 (chiffre 4.3.3.), les prescriptions suivantes s'appliquent au tracé géométrique de la voie pour CFF I et d'autres GI:

### 2.5.1. Situations particulières dans des installations existantes (chemins de fer alpins)

Lorsque la courbe de raccordement est plus courte que la rampe de dévers nécessaire, cette dernière doit alors être prolongée dans la courbe circulaire conformément au croquis suivant:

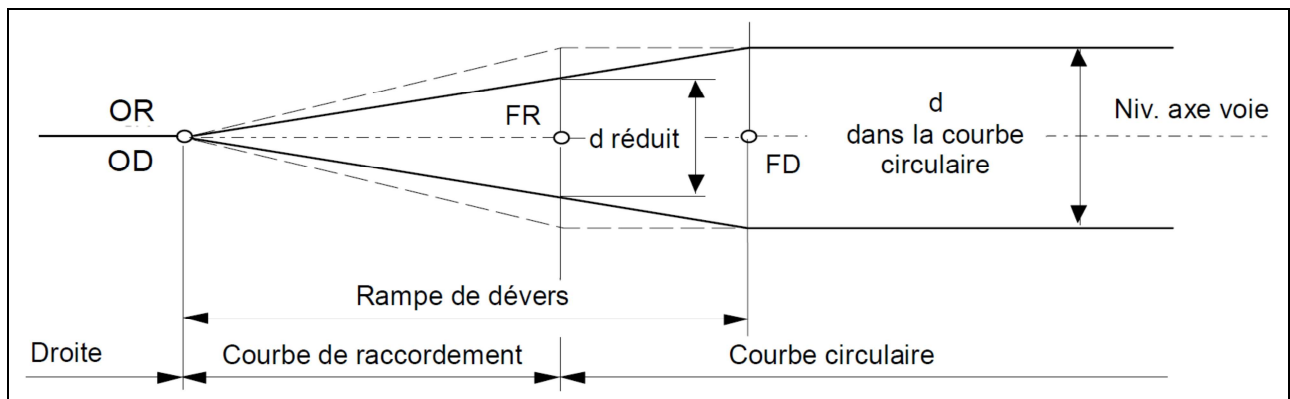


Fig. 2-5: situations particulières dans des installations existantes (source: R I-22046, chiffre 4.3.3.)

Il est alors important de veiller à ce que, pour des rayons  $R < 350$  m, la condition ci-dessous soit respectée (valeur limite en cas normal):

$$d_{\text{réduit}} \geq \frac{11,8 \cdot V_R^2}{R} - 130$$

$d_{\text{réduit}}$	[mm]
$R$	[m]
$V_R$	[km/h]

La longueur minimale de la courbe circulaire est par conséquent dimensionnée entre les deux points de fin de la rampe de dévers (début et fin de la pleine courbe à dévers constant). Dans la mesure où le gauchissement, en tant que principal facteur d'influence en matière de déraillement, est limité, l'espace disponible, à savoir la longueur des courbes de raccordement, ne suffit pas pour atteindre le dévers maximal au début de la pleine courbe. Les conséquences en sont les suivantes:

- On assiste à la formation de pointes avec une forte insuffisance de dévers ( $id$ ), également appelées «oreilles de chat» (cf. figures ci-dessous). Dans les rampes de dévers, les pointes  $id$  ( $id \leq id_{\text{adm}}$ ) sont souvent jusqu'à 1.5 fois plus élevées que dans les pleines courbes à dévers constant.
- Lors de l'essai de marche au sens de la norme EN 14363, les valeurs maximales des grandeurs d'évaluation déterminantes pour la sécurité concernant les courbes de raccordement doivent être comparées aux valeurs limites correspondantes. Les études de base ont montré de surcroît que dans la zone de raccordement, les valeurs maximales n'étaient pas substantiellement différentes avec ou sans «oreilles de chat», tant du point de vue de la sécurité que de la fatigue de la voie.

→ Si la longueur de courbe restante est trop courte, la section de pleine courbe<sup>7</sup> selon EN 14363 n'est pas non plus prise en compte dans l'analyse statistique.

Deux exemples réels de tracé:



Fig. 2-6 et 2-7: exemples réels de tracé avec pointes id, appelées «oreilles de chat» (source: I-AT-FW-TNZ)

<sup>7</sup> Cela vaut également de manière limitée pour le début d'une pleine courbe. Pour les essais en ligne, la norme EN 14363 se fonde aussi sur des conditions constantes du point de vue du comportement dynamique pour chaque section (cf. chiffre 3.6, et en particulier la zone de raccordement de la fig. 3-2).

## 2.5.2. Superstructure dans les courbes serrées

Les calculs réalisés par l'ORE pour la Question C 138 permettent de conclure que le matériel de voie actuellement utilisé sur les tronçons comportant des courbes d'un rayon inférieur à 250 m ne peut pas supporter durablement la fatigue de la voie ( $Y_{qst}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Q_{qst}$ ,  $Q_{max}$ ) autorisée par la norme pour les rayons égaux ou supérieurs à 250 m, ni les importantes charges globales qui en découlent<sup>8</sup>. Dès 54 kg/m, le profil de rail est considéré comme limite en matière de résistance à la fatigue dans le cadre de l'ORE C 138<sup>9</sup>. Cela vaut déjà pour des forces apparaissant localement et de façon isolée sur les rails, et non pour l'ensemble statistique sur lequel on se fonde aujourd'hui pour  $Y_{qst}$  dans la procédure de test standardisée. Le profil de rail de 46 kg/m (les moments d'inertie et de résistance correspondent à env. 75 % d'un profil de rail de 54 kg/m) est largement employé en Suisse sur les tronçons comportant de nombreuses courbes de très petit rayon  $R < 250$  m (zone d'essai 5) en raison des exigences posées à la soudabilité de la voie sans joint, et il devra continuer à être employé. Un remplacement à court terme n'est pas réalisable et la pose de voies éclissées avec un profil de rail de 54 kg/m ne peut pas être concrétisée, surtout dans les zones à forte concentration démographique.

C'est pourquoi, sur des tronçons présentant un nombre important de courbes de très petit rayon  $R < 250$  m (zone d'essai 5), la valeur  $Y_{a,qst,lim} = 60 \text{ kN}$ <sup>9 et 10</sup> continue d'être utilisée.

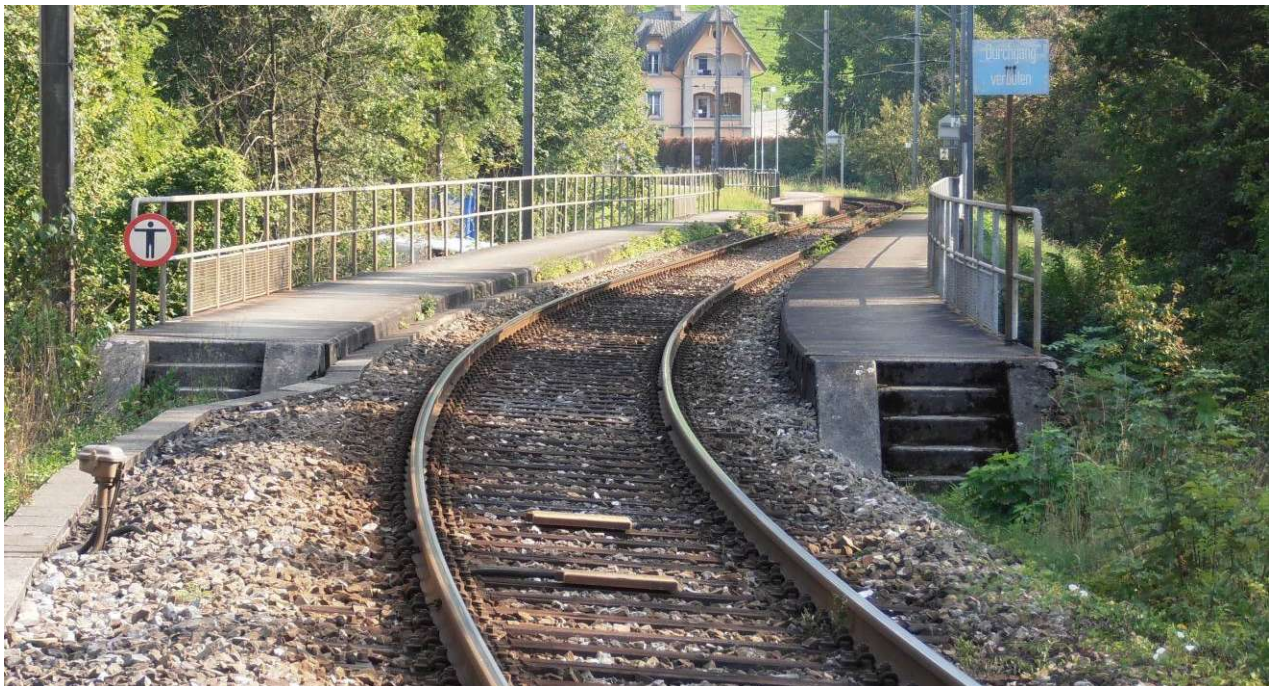


Fig. 2-8: courbe de 197 m suivie d'un pont puis d'une contre-courbe de 190 m (source: CFF I-AT-FW-TNZ)

<sup>8</sup> Cf. question UIC 57B/9-2 de janvier 1992 (profil de rail de 54 kg/m:  $Y_{qst} < 60 \text{ kN}$  /  $Y_{max} < 110 \text{ kN}$  /  $Q_{qst} < 145 \text{ kN}$  /  $Q_{max} < 170 \text{ kN}$ ).

<sup>9</sup> Le trafic mixte est ici une condition préalable importante. En cas de trafic non mixte, le GI doit impérativement accroître l'entretien. Ce dernier doit être adapté spécifiquement à chaque tronçon en fonction de la charge globale réelle dans le cadre de la planification (et du financement) de l'entretien; en cas de charges globales excessives, des mesures supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires.

<sup>10</sup> En l'absence d'autres mesures, il convient d'utiliser la valeur limite en cas normal conformément aux DE-OCF (cf. chiffre 3.1.).

## 2.6. Insuffisance de dévers en zone d'essai 5

Pour la catégorie de train R, l'insuffisance de dévers  $i_d$  en service selon l'art. 17, feuille n° 8 N DE-OCF sur les tronçons présentant de très petits rayons ( $R < 250$  m) est la suivante:  $i_{d,adm} = 130$  mm (valeur limite en cas normal: 122 mm). Cela correspond à une accélération transversale non compensée  $a_{q,adm}$  de  $0.85$  m/s<sup>2</sup> (valeur limite en cas normal:  $0.8$  m/s<sup>2</sup>).

Conformément à l'art. 17, feuille n° 8 N DE-OCF (note (1) du chiffre 3.6.2.1), la vitesse de la catégorie de train A sur les tronçons de voie correspondants est généralement limitée à  $V_{A,max} = V_{(i_d = 122 \text{ mm})} - 5$  km/h. Exceptionnellement, l'OFT peut autoriser des valeurs allant jusqu'à  $V_{A,max} = V_{(i_d = 130 \text{ mm})} - 5$  km/h (p. ex. pour les bordures de quai et les oreilles de chat).

Le tableau ci-dessous permet de comparer l'insuffisance de dévers autorisée pour les zones d'essai 3 (courbes avec  $400 \text{ m} \leq R \leq 600$  m) et 4 (courbes avec  $250 \text{ m} \leq R < 400$  m) de la norme EN 14363 avec celle autorisée lors de l'essai de marche spécifique dans la zone d'essai 5 en fonction de la catégorie de train:

Insuffisance de dévers $i_d$	Zone d'essai		
	3 $400 \text{ m} \leq R \leq 600 \text{ m}$	4 $250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}$	5 $R < 250 \text{ m}$
Catégorie de train R <sup>11</sup>	$i_{d,adm} = 150$ mm ( $a_{q,adm} = 0.98$ m/s <sup>2</sup> )		$i_{d,adm} = 130$ mm ( $a_{q,adm} = 0.85$ m/s <sup>2</sup> )
Catégorie de train A <sup>12</sup>	$i_{d,adm} = 130$ mm ( $a_{q,adm} = 0.85$ m/s <sup>2</sup> )		$i_{d,adm} = 110$ mm <sup>13</sup> ( $a_{q,adm} = 0.72$ m/s <sup>2</sup> )
Transport exceptionnel <sup>14</sup>	-		$i_{d,adm} = 50$ mm ( $a_{q,adm} = 0.33$ m/s <sup>2</sup> )

Tab. 2-9: comparaison de l'insuffisance de dévers dans les zones d'essai 3, 4 et 5 entre les catégories de train R et A

<sup>11</sup> La catégorie de train R correspond à la catégorie O au SOB.

<sup>12</sup> Les véhicules peuvent être contrôlés en fonction de leurs propriétés techniques selon la catégorie de train R ou A. Si des véhicules testés selon la catégorie de train R ne peuvent pas respecter les valeurs limites correspondantes, la circulation selon la catégorie de train A constitue une solution de repli pour l'exploitation. La condition requise est le respect des valeurs limites pour la catégorie de train A en matière d'insuffisance de dévers déterminante pour l'évaluation.

<sup>13</sup> Valable uniquement pour les pleines courbes en dévers et sous réserve de modifications pour le cas où  $V_R = V_A = 40$  km/h.

<sup>14</sup> Les véhicules correspondants sont contrôlés selon les directives applicables à la catégorie de train A. Si les valeurs limites utilisées pour l'appréciation des résultats de mesure ne peuvent pas être respectées, la circulation en tant que transport exceptionnel selon la fiche UIC 502-1 constitue une solution de repli pour l'exploitation dans les conditions suivantes:

- Pour les trajets non réguliers sur la base d'un examen particulier au cas par cas entre l'ETF et le GI, p. ex. en tant que véhicule de service pour les travaux de construction et de maintenance sur l'infrastructure.
- Vitesse maximale définie par le GI dans le cadre des tableaux des parcours RADN (R I-30131) de sorte que l'insuffisance de dévers maximale  $i_{d,adm} = 50$  mm soit respectée dans toutes les courbes d'un rayon  $R < 250$  m sur le tronçon à parcourir.
- Respect des valeurs limites correspondantes en matière d'insuffisance de dévers déterminante pour l'évaluation.



## 2.7. Vitesse et respect des valeurs limites

La vitesse lors de l'essai de marche pour la zone d'essai 5 n'est pas définie par l'insuffisance de dévers  $id$ , mais par trois plages de vitesse sur les tronçons de référence:

[1]  $V_{adm} - 5 \text{ km/h}$

[2]  $V_{adm}$  (vitesse d'exploitation nominale autorisée en fonction de la catégorie de train)

[3]  $V_{adm} + 5 \text{ km/h}$  (mais limitée par env.  $1.1 \cdot id_{adm}$ )

Le tableau ci-dessous permet de comparer les conditions d'essai en matière de vitesse entre les zones d'essai 3 et 4 de la norme et la zone d'essai 5:

Conditions d'essai	Zone d'essai		
	3 $400 \text{ m} \leq R \leq 600 \text{ m}$	4 $250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}$	5 $R < 250 \text{ m}$
Vitesse $V$ [km/h]	$(V_{cont} \leq 1.1 \cdot V_{adm})$		$V_{adm} - 5 \text{ km/h}$ $V_{adm}$ $V_{adm} + 5 \text{ km/h}$
Insuffisance de dévers $id$ [mm]	$0.75 \cdot id_{adm} \leq id_{cont} \leq 1.1 \cdot id_{adm}$		$(id_{cont} \leq 1.1 \cdot id_{adm})$
Tolérance	$\pm 0.05 \cdot id_{adm}$		$\pm 2 \text{ km/h}^{15}$

Tab. 2-10: comparaison des conditions d'essai en matière de vitesse entre les zones d'essai 3, 4 et 5

La réserve par rapport à la vitesse d'exploitation nominale sert à couvrir les paramètres d'exploitation supplémentaires (voie ferrée, véhicule, régime, environnement et dispersion constructive) que l'on ne peut techniquement pas reproduire ou faire varier lors des essais.

Les augmentations de vitesse doivent être progressives et survenir uniquement lorsque des résultats de mesure déjà établis et évalués permettent d'exclure une mise en danger des installations et de l'exploitation ferroviaire.

Les expériences tirées des études de base du groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB ont conduit à la recommandation selon laquelle, pour garantir la transférabilité des résultats de mesure provenant d'autres pays<sup>16</sup>, il est judicieux de tester la zone d'essai 4<sup>17</sup> conjointement avec la zone d'essai 5 en Suisse.

<sup>15</sup> Dépend aussi de la possibilité de régulation de la vitesse du véhicule à contrôler.

<sup>16</sup> Les différences connues d'un pays à l'autre sont notamment les suivantes: rayon de courbure moyen de toutes les sections d'analyse  $R_m$  de la zone d'essai, standards différents concernant la superstructure et le tracé.

<sup>17</sup> Recommandation: ligne panoramique du Saint-Gothard ou, pour les véhicules à deux niveaux, tronçons Etwilen – Seuzach et Spiez – Interlaken Ost.

### 3. Exigences et critères d'évaluation

Les DE-OCF et, à l'international, la fiche UIC 518 indiquent le domaine à contrôler non visé par la norme (courbes dont le rayon est inférieur à 250 m).

- DE-OCF, art. 31, feuille n° 2 N: *«Des études de cas spécifiques sont nécessaires lorsque les rayons de courbure ont une valeur  $R < 250$  m.»*
- Fiche UIC 518, chapitre 1: *«Pour des réseaux ou des relations spécifiques pour lesquels l'état de la voie (tracé, qualité géométrique...) est plus mauvais et/ou les conditions d'exploitation (vitesse et insuffisance de dévers) sont plus sévères que ceux pris comme référence dans la fiche, des vérifications complémentaires doivent être effectuées, là où c'est nécessaire, pour assurer la sécurité de l'exploitation envisagée.»*

Le chiffre 5.4.2 de la norme EN 14363:2005 précisait:

- *«Les valeurs  $R = 400$  m et  $R = 250$  m se rapportent à l'utilisation internationale. En cas d'utilisation sur un réseau présentant d'autres conditions de tracé, les rayons de courbure des zones d'essai 3 et 4 peuvent être modifiés.»*

On pouvait en outre lire au chiffre 1 (Domaine d'application) les remarques suivantes:

- *«L'essai de marche sur des chemins de fer caractérisés par un autre tracé de la voie peut être réalisé par analogie avec les règles de la présente norme européenne.»*
- *«L'essai en vue de l'homologation du comportement dynamique se fonde sur un état de référence de la voie bien précis. Si cet état n'est pas respecté sur certains tronçons, des mesures appropriées doivent être prises (modification de la vitesse du véhicule, essais supplémentaires, etc.).»*

La norme EN 14363 actuelle (chiffre 1: Domaine d'application) part du principe qu'un véhicule contrôlé selon les exigences normatives peut circuler de manière sûre sur toutes les voies normales. Les résultats des études de base démontrent cependant que cela ne s'applique pas entièrement au réseau à voie normale suisse.

La démonstration de la sécurité est établie sur la base de la procédure de test normale au moyen des essieux de mesure et de l'analyse des forces roue-rail mesurées (cf. chiffres 3.9., 3.10. et 3.14.). Il faut autant que possible appliquer les consignes de mesure (taux d'échantillonnage, filtrage, etc.) relatives à l'essai de marche figurant dans la norme EN 14363 et dans la fiche UIC 518 (cf. chiffre 3.7.). L'essai porte sur les forces roue-rail de tous les essieux déterminants pour l'évaluation dans les modes d'exploitation nominaux du véhicule à examiner, que le requérant a définis dans le cadre de l'appréciation des risques (cf. chiffres 3.10 et 3.11).

L'étendue des courses d'essai et l'analyse requise doivent être planifiées sur la base de l'appréciation des risques en fonction du véhicule, de ses composants et du spectre d'utilisation prévu. Ces études préliminaires doivent faire l'objet d'un accord entre le requérant, l'OFT et Accès technique au réseau de CFF Infrastructure avant les courses d'essai et être documentées selon une spécification d'essai correspondante.

### 3.1. Forces d'appui et de guidage de la roue autorisées

Conformément à l'art. 47, feuille n° 1 DE-OCF, il convient de fixer la charge admissible par essieu en fonction de la superstructure et la charge admissible par mètre (masse par mètre de longueur du véhicule) en fonction des ouvrages d'art (ponts). Par ailleurs, selon l'art. 31, feuille n° 2 N, les forces ou charges dues aux véhicules (pour les trains pendulaires, se référer impérativement à l'art. 17, feuille n° 20 N, chiffre 8.2 DE-OCF) s'appliquent comme indiqué ci-après.

#### 3.1.1. Forces verticales selon les DE-OCF

- Charge par essieu statique: répartition selon f. UIC 700/EN 15528/  
réglementation CFF I-50064 (Catégories de ligne)
- Charge de roue quasi-statique:  $Q_{qst,lim} = 145 \text{ kN}$  (f. UIC 518)
- Charge de roue dynamique:  $Q_{max,lim} = 200 \text{ kN}$  (f. UIC 518)
- Valeurs de pointe en cas d'irrégularités sur la roue ou sur le rail  
(chocs):  $Q_{max}$  jusqu'à 350 kN (ERRI D 170)

Pour les états de charge examinés, il faut mesurer statiquement chaque charge de roue (force d'appui de la roue  $Q_0$ ) du véhicule sur une balance appropriée (étalonnée) et en rapporter les résultats dans un procès-verbal de pesée.

Le calibrage des forces d'appui des roues mesurées au moyen des essieux de mesure doit faire l'objet d'un contrôle de plausibilité sur la base du procès-verbal de pesée.

#### 3.1.2. Forces horizontales selon les DE-OCF

- Force de guidage horizontale sur la roue:
  - quasi-statique  $Y_{a,qst,lim}$  Valeur limite en cas normal = 60 kN
  - maximale (pointes)  $Y_{a,max,lim}$  120 – 140 kN (p. ex. contre-rail)

Conformément au sous-comité mixte UIC 57B/9-2 et à l'instruction CFF «cahiers des charges pour la construction de véhicules moteurs», les valeurs ci-après s'appliquent:

#### 3.1.3. Forces verticales selon UIC 57B/9-2 et instruction CFF

- Charge de roue quasi-statique:  $Q_{a,qst,lim} = 145 \text{ kN}$
- Charge de roue dynamique:  $Q_{a,max,lim} = 170 \text{ kN}^{18}$

#### 3.1.4. Forces horizontales selon UIC 57B/9-2 et instruction CFF

- Force de guidage quasi-statique:  $Y_{a,qst,lim} = 60 \text{ kN}$
- Force de guidage dynamique:  $Y_{a,max,lim} = 110 \text{ kN}$

<sup>18</sup> Cette valeur (correspondant alors encore à  $h = 97.5\%$ ) a été confirmée par les CFF également dans le cadre du questionnaire UIC UA 7G pour les profils de rail de 54 kg/m et de 60 kg/m.

Les résultats des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB aboutissent aux valeurs limites suivantes:

### 3.1.5. Forces verticales autorisées dans la zone d'essai 5

- Charge de roue quasi-statique:  $Q_{a,qst,lim} = 145 \text{ kN}$
- Charge de roue dynamique:  $Q_{a,max,lim} = 180 \text{ kN}$

### 3.1.6. Forces horizontales autorisées dans la zone d'essai 5

- Force de guidage quasi-statique:
  - Locomotives:  $Y_{a,qst,lim,locs} = 70 \text{ kN}$
  - Wagons et voitures:  $Y_{a,qst,lim,wagons/voitures} = 60 \text{ kN}$
  - Rames automotrices:  $Y_{a,qst,lim,rames \text{ automotrices}} = 70 \text{ kN}$
- Force de guidage dynamique:  $Y_{a,max,lim} = 110 \text{ kN}^{19}$

Des forces de guidage  $Y_{a,qst}$  accrues jusqu'à la valeur limite spécifique au type de véhicule  $Y_{a,qst,lim}$  nécessitent une réduction de la charge de roue  $Q_{a,qst}$  afin de ne pas dépasser l'effort de sollicitation de la voie  $B_{a,qst,lim}$ , également spécifique au type de véhicule.

## 3.2. Effort de sollicitation de la voie (B) combiné (vertical et horizontal)

L'effort de sollicitation de la voie quasi-statique combiné,  $B_{a,qst}$ , est considéré en Suisse comme la combinaison linéaire des forces agissant simultanément  $Y_{a,qst}$  et  $Q_{a,qst}$ . Il remplit la fonction suivante:

- Des forces de guidage plus élevées peuvent être acceptées si les forces verticales sont basses (véhicules légers). Un dépassement de la valeur limite de  $Y_{a,qst}$  est ainsi possible sans fatigue excessive des rails (réduction de  $Q_{a,qst}$ ). Il n'est pas nécessaire d'être en mesure d'accepter des forces verticales plus élevées, car même les véhicules lourds présentant une masse non suspendue importante peuvent respecter la valeur limite de  $Q_{a,qst}$ .
- Si certaines forces sont trop importantes,  $B_{a,qst}$  peut aider à fixer des restrictions de la vitesse et/ou de l'insuffisance de dévers (grandeur proportionnelle aux contraintes sur les rails et qui peut être modifiée en fonction des rails utilisés<sup>20</sup>).

La valeur limite définie par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB pour le profil de rail 46 kg/m est la suivante:

- Effort de sollicitation quasi-statique:  $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$   
(EN 14363, annexe J)
- $$B_{a,qst} = |Y_{a,qst}| + 0.83 \cdot Q_{a,qst}$$

<sup>19</sup> La fatigue des rails due aux contraintes de flexion est le résultat d'une sollicitation répétée par des forces totales maximales exercées à un même endroit de la voie (et non par des valeurs moyennes quasi-statiques). Il faut donc déterminer, en plus de la valeur quasi-statique  $Y_{a,qst}$ , la valeur maximale  $Y_{a,max}$ .

<sup>20</sup> La valeur limite de  $B_{a,qst,lim}$  dépend de la section transversale des rails.

### 3.2.1. Effort de sollicitation de la voie quasi-statique pour les locomotives

La valeur limite plus élevée ci-après a été définie pour les locomotives suite aux études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB:

- Effort de sollicitation quasi-statique:  $B_{a,qst,lim,locs} = 180 \text{ kN}^{21}$

### 3.2.2. Effort de sollicitation de la voie quasi-statique pour les wagons et voitures

La valeur limite réduite ci-après est valable pour les wagons et les voitures:

- Effort de sollicitation quasi-statique:  $B_{a,qst,lim,wagons/voitures} = 170 \text{ kN}^{22}$

### 3.2.3. Effort de sollicitation de la voie quasi-statique pour les rames automotrices

La valeur limite normale s'applique aux rames automotrices<sup>23</sup>:

- Effort de sollicitation quasi-statique:  $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$

### 3.2.4. Représentation de la corrélation entre les forces Y, Q et B

Représentation graphique de la corrélation entre les forces quasi-statiques Y et Q, ainsi que de la combinaison entre l'effort de sollicitation de la voie B et  $(Y/Q)_{a,qst,lim}$ :

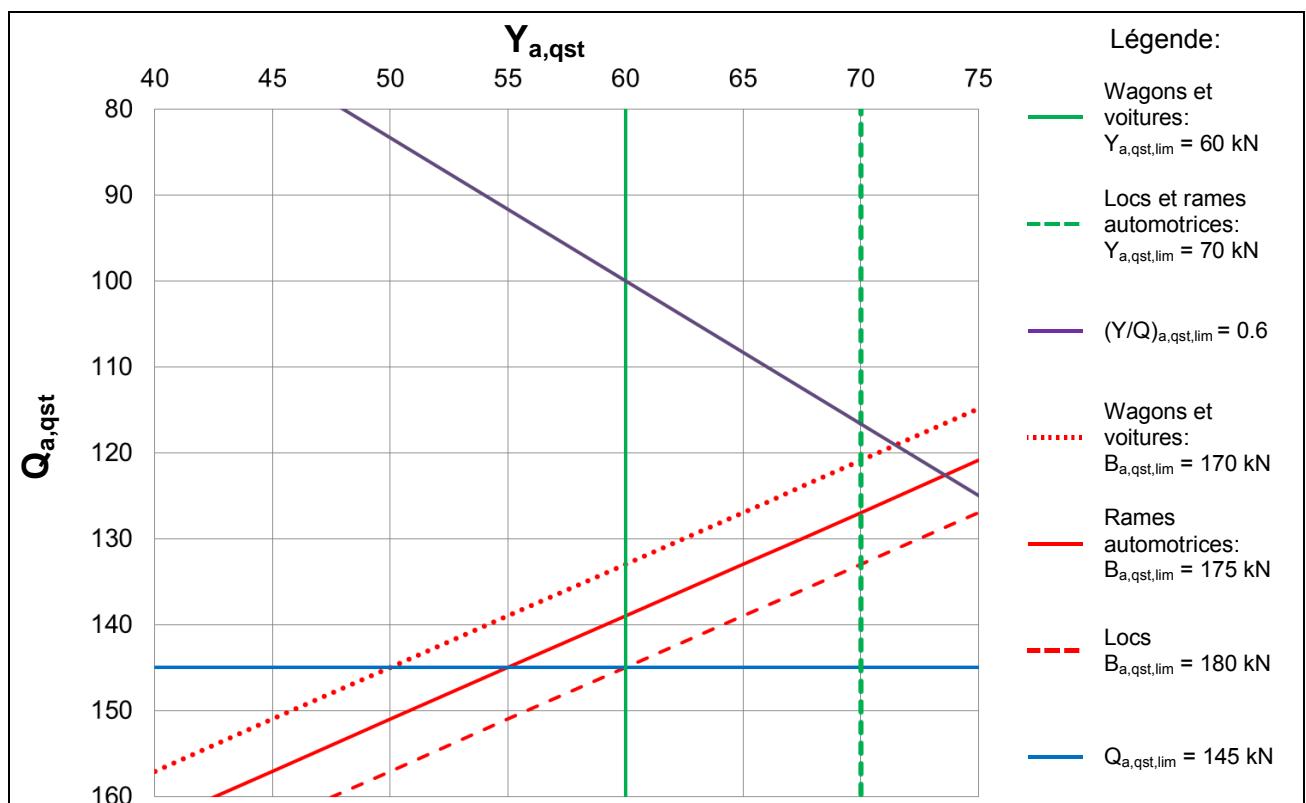


Fig. 3-1: représentation graphique de la corrélation entre les forces  $Y_{a,qst}$  et  $Q_{a,qst}$ , ainsi que de la combinaison  $B_{a,qst}$  et  $(Y/Q)_{a,qst,lim}$

<sup>21</sup>  $B_{a,qst,lim,locs} = B_{a,qst,lim} + 5 \text{ kN}$ . La valeur limite de  $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$  applicable aux rails 46 kg/m ne peut être dépassée que dans le cadre d'un trafic mixte (cf. chiffre 2.5.2. et note de bas de page 9).

<sup>22</sup>  $B_{a,qst,lim,wagons/voitures} = B_{a,qst,lim} - 5 \text{ kN}$ . Pour justifier le dépassement de la valeur limite de  $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$  applicable aux rails 46 kg/m dans le cas des locomotives et afin d'assurer la condition requise de trafic mixte, une valeur limite abaissée en conséquence s'applique aux wagons et voitures.

<sup>23</sup> Les rames automotrices sont des compositions fermées et, d'après les expériences recueillies jusqu'ici en Suisse, elles engendrent toujours une sollicitation globalement plus élevée que les trains tractés. C'est pourquoi on applique dans ce cas la valeur limite normale  $B_{a,qst,lim}$ .

### 3.3. Paramètres supplémentaires à documenter concernant la fatigue de la voie

Les grandeurs utilisées pour l'évaluation de la fatigue de la voie visent à surveiller différentes conséquences, telles que:

- fatigue du rail en tant que poutre continue sous l'effet de contraintes de flexion;
- usure abrasive des flancs de rail;
- fatigue superficielle du champignon de rail (y compris apparition de fissures) sous l'effet de forces de contact importantes;
- défaillance des éléments de fixation sous l'effet de forces de guidage ou de moments de torsion importants.

Par ailleurs, les paramètres supplémentaires ci-après, qui ne sont analysés que pour le rail extérieur dans les courbes, aident à définir les conditions d'exploitation et les états de véhicule appropriés (insuffisance de dévers, vitesse, conditions de frottement, charge) en fonction du tracé, de la qualité géométrique de la voie et de la stratégie en matière de maintenance de la voie.

- Effort de sollicitation de la voie dynamique  $B_{a,max}$ :

$$B_{a,max} = |Y_{a,max}| + 0.91 \cdot Q_{a,max} \quad (\text{EN 14363, annexe J})$$

- Variation de contact  $\Delta y_R$ : point de contact entre la roue et le rail (valeur de mesure de la position latérale du point d'appui sur le profil de roue, tirée du système des essieux de mesure)
- Force longitudinale à la roue quasi-statique  $T_{x,a,qst}$

et

- Détérioration de la surface du rail quasi-statique  $T_{a,qst}$ :

$$T_{a,qst} = \frac{Q_{a,qst}}{10000} \cdot (330 \cdot f^2 - 62 \cdot f + 4)$$

$$\text{avec } f = \left( \frac{Y}{Q} \right)_{a,qst} + 0.62 \cdot \left( \frac{|T_x|}{Q} \right)_{a,qst}$$

en tant que paramètre pour l'interaction entre l'usure et la fatigue due au contact de roulement d'origine superficielle, lorsque les forces  $T_x$  peuvent être mesurées.

(EN 14363, annexe K)

Les valeurs limites correspondantes ne sont pas spécifiées dans la présente réglementation. Le développement et la définition des futures valeurs limites doivent prendre en compte les expériences issues des données de mesure.

### 3.4. Force de ripage selon les DE-OCF

De manière générale, la force de ripage admissible se calcule en Suisse conformément à l'art. 31, feuille n° 2 N DE-OCF:

$$\bullet \quad (\Sigma Y)_{\max, \lim} = \alpha \cdot \left( 10 + \frac{P_{F0}}{3} \right) \quad [\text{kN}]$$

► Analyse selon EN 14363, tab. 5:

Méthode de la moyenne glissante avec:

- longueur moyenne 2 m
- longueur de progression  $\leq 0.5$  m

En règle générale et en l'absence de spécifications particulières, on utilise comme valeur normale dans la zone d'essai 5 pour le calcul de la valeur limite des forces de ripage un coefficient de  $\alpha = 0.85$ . Compte tenu du tracé et de la superstructure qui en résulte dans les courbes serrées, l'application de la valeur dérogatoire  $\alpha = 1.0$  pour les rayons inférieurs à 250 m est exclue même dans un futur proche (cf. chiffre 2.5.).

Si des effets particuliers sont constatés lors de l'analyse statistique des résultats de mesure, il est possible de faire établir par un expert un argumentaire techniquement correct avec des niveaux d'interprétation clairs et plausibles, p. ex. pour les points suivants:

- distinction entre le dépassement des valeurs limites absolues et le dépassement de la valeur escomptée maximale (pas de dépassement des valeurs limites pour des valeurs individuelles déterminantes pour la sécurité).
- forte dispersion des résultats de mesure en raison des conceptions d'organes de roulement réglables au niveau radial (bonne capacité de réglage radial).
- écart entre gauche et droite.

### 3.5. Quotient de la force de guidage par la force d'appui de la roue

#### 3.5.1. Quotient de sécurité au déraillement ( $Y/Q$ )

Le quotient de la force de guidage par la charge  $(Y/Q)_a$  de la roue extérieure est employé comme grandeur d'évaluation de la sécurité au déraillement suite au soulèvement d'un boudin de roue. L'utilisation de  $(Y/Q)_a$  comme grandeur d'évaluation a été proposée pour la première fois par Nadal en 1908, et cette solution a depuis été adoptée par de nombreuses entreprises de chemin de fer dans le monde. La valeur

- $\left(\frac{Y}{Q}\right)_{a,\text{lim}} = 1.2$

permettant d'assurer la sécurité au déraillement lors du franchissement de gauchissements a été définie, au terme d'études des chemins de fer européens, pour un angle du flanc du boudin  $\gamma$  de  $70^\circ$  et un coefficient de frottement  $\mu \geq 0.36$ . Pour d'autres angles du flanc du boudin, la valeur limite est calculée comme suit:

- $\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - 0.36}{1 + 0.36 \cdot \tan \gamma}$

Déterminante pour la sécurité, la valeur limite des quotients de la force de guidage et de la charge  $(Y/Q)_{a,\text{max}}$  d'une roue directrice dans une courbe de rayon  $R \geq 250$  m est la suivante:

- $\left(\frac{Y}{Q}\right)_{a,\text{max,lim}} = 0.8$

Les études effectuées jusqu'à présent quant à l'essai de marche standardisé de véhicules ferroviaires ont permis de vérifier la valeur limite  $(Y/Q)_{a,\text{max,lim}}$  uniquement pour les courbes (courbure constante sans courbe de raccordement ni rampe) présentant un rayon  $R \geq 300$  m et pour quelques états de charge seulement. Selon l'EN 14363, les preuves de la validité de cette valeur pour les rayons de courbure  $R < 300$  m font pour l'instant défaut.

Le constat suivant figurait déjà dans le rapport final du comité ORE C 138/RP 9 (traduction basée sur la version allemande du document):

*«Dans les courbes serrées de rayon  $R \leq 300$  m, des valeurs de fréquence dépassant les valeurs limites sont enregistrées uniquement pour les locomotives CFF Bo'Bo' (0.86 et 0.92); pour la locomotive NSB, la valeur limite est presque atteinte également dans les courbes de rayon  $R \leq 300$  m (0.77). Les estimations de la valeur escomptée maximale s'élèvent à 0.99 et 0.92 pour les locomotives CFF et NSB.*

*Il faut en conclure que les programmes d'essai cumulés dans un contexte propice au déraillement, visant à définir une valeur limite pour  $Y/Q$  par rapport aux conditions d'exploitation normales effectives, étaient conçus de manière très stricte et qu'ils ont conduit par conséquent à une valeur faible de 0.8. Si cette valeur a pu être confirmée pour les rayons de courbure  $R > 300$  m, ce n'est pas le cas pour  $R \leq 300$  m.*



*Des études supplémentaires sur la probabilité de l'apparition simultanée de facteurs propices au déraillement dans des conditions d'exploitation normales devraient démontrer dans quelle mesure cette valeur pourrait être relevée. Des expériences d'exploitation très longues avec des valeurs aux alentours de 1 n'ont cependant jamais entraîné de déraillements.*

*Le respect d'une valeur limite  $Y/Q = 0.8$  mène en tout cas à un niveau élevé de sécurité au déraillement, qui implique encore un certain facteur de sécurité. L'ampleur de ce facteur relève de la compétence de décision et de la responsabilité des différentes entreprises de chemin de fer.»*

Les résultats des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB confirment ces constats. Compte tenu des conditions d'exploitation suisses, l'évaluation de la valeur de mesure  $(Y/Q)_{a,max}$  dans les courbes de très petit rayon (pleines courbes  $R < 250$  m) est basée sur la valeur limite de  $(Y/Q)_{a,max,lim} = 1.0$ .

Il se peut en outre que l'on n'obtienne pas nécessairement la valeur escomptée la plus élevée pour la valeur cible de l'insuffisance de dévers, le quotient  $(Y/Q)$  pouvant s'améliorer avec l'augmentation de la dynamique. Si l'évolution des droites de régression ou de l'intervalle de confiance pour  $id = 0.7 \cdot id_{adm}$  conduit à des valeurs supérieures à celles de la valeur cible de l'insuffisance de dévers, cela vaut comme base d'évaluation et doit être documenté en conséquence.

Pour l'évaluation des courbes de raccordement, les valeurs individuelles ne doivent pas dépasser la valeur limite  $(Y/Q)_{a,max,lim} = 1.2$  (évaluation de la valeur maximale sans analyse statistique).

Conformément à l'EN 14363, un véhicule est réputé sûr au déraillement lorsqu'il obtient à chaque essai au moins 99.85% de la valeur tirée de l'expérience  $\{ (Y/Q)_{a,max} \} \leq (Y/Q)_{a,max,lim}$ .

### 3.5.2. Quotient pour l'évaluation de la fatigue de la voie $(Y/Q)$

En complément de l'évaluation de la sécurité au déraillement, on utilise également le quotient  $(Y/Q)$  comme grandeur d'évaluation de la fatigue de la voie (notamment au niveau de la fixation des rails).  $(Y/Q)_{a,qst}$  découle du fait que la résultante des forces  $Y$  et  $Q$  dans la largeur des patins des rails doit être introduite dans la fixation.

- Valeur de fatigue quasi-statique:  $(Y/Q)_{a,qst,lim} = 0.6$

Le critère d'évaluation  $(Y/Q)_{a,qst}$  est une grandeur pertinente en combinaison avec l'effort de sollicitation de la voie quasi-statique  $B_{a,qst}$ .

### 3.6. Conditions d'essai pour les sections d'analyse dans les courbes (complétées)

Ci-après figurent les conditions d'essai pour les sections d'analyse dans les courbes<sup>24</sup> selon l'EN 14363, tab. 2, complétées pour la zone d'essai 5:

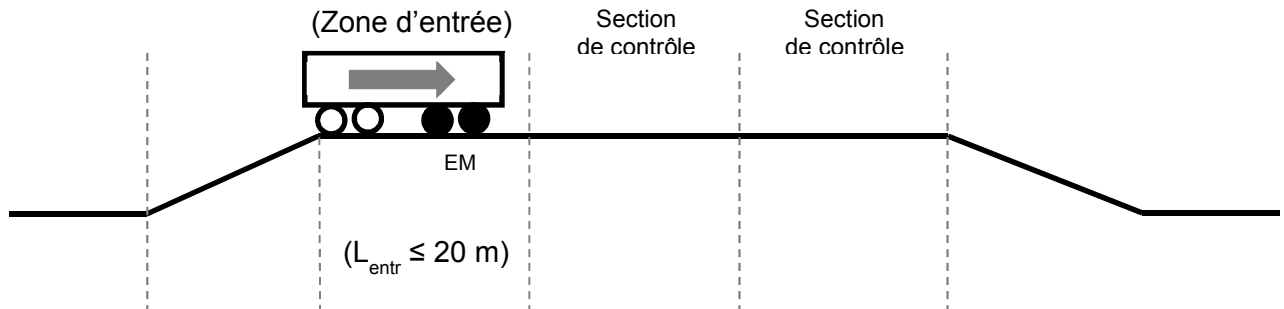


Fig. 3-2: division d'une courbe en courbe de raccordement, zone d'entrée et section de contrôle ou d'analyse

Caractéristique de contrôle	Zone d'essai			
	2	3 400 m ≤ R ≤ 600 m	4 250 m ≤ R < 400 m	5 R < 250 m
Longueur de la section d'analyse $L_{SA_n}^{A)}$		100 m	70 m	50 m
a) $V \leq 140$ km/h	100 m			
b) $140$ km/h < $V \leq 220$ km/h	250 m			
c) $V > 220$ km/h	500 m			
Nombre minimal de sections d'analyse à contrôler $n_{SA_n, \min}$	25	50	25	Toutes les sections mesurées <sup>25</sup>
Longueur minimale de la somme des sections d'analyse $\Sigma L_{SA_n, \min}$	10 km			
Rayon de courbure moyen de toutes les sections d'analyse $R_m^{B)}$		500 m ±50 m	300 m +50 m, -20 m	200 m ±10 m
A) Tolérance pour la longueur d'une section d'analyse: ±20%				
B) ZE 5: (250 m + 144 m) / 2 = 197 m (tronçon de référence: ~ 197 m) → $R_m \approx 200$ m				

Tab. 3-3: conditions d'essai pour les sections d'analyse dans les courbes, zone d'essai 5 incl.

<sup>24</sup> En complément de la norme EN 14363 (chiffre 7.3.2):

- La courbe se divise en une courbe de raccordement et une pleine courbe. La pleine courbe est la zone présentant une courbure constante et un dévers constant («oreilles de chat» → courbe de raccordement).
- Il faut systématiquement analyser la longueur totale de la courbe, sans lacune entre la première section de la pleine courbe et la section de raccordement qui précède.
- Afin de tenir compte de la dynamique du véhicule, il est possible d'intégrer au cas par cas dans l'analyse de la courbe de raccordement une section d'analyse allant jusqu'à une longueur de véhicule et max. 20 m au début de la pleine courbe (zone d'entrée), si des effets de raccordement spécifiques au véhicule surviennent et influent de manière importante sur l'analyse statistique des sections de pleine courbe. Les effets de raccordement correspondants doivent être consignés et documentés dans le rapport d'essai.
- Les courbes de raccordement/rampes doivent également être analysées et documentées. Du fait de la variation des paramètres de conduite au sein de ce type de courbe, aucune analyse statistique n'est cependant établie pour la courbe de raccordement.

<sup>25</sup> En règle générale, il convient de parcourir à chaque fois la totalité du tronçon de référence et de prendre en compte toutes les sections d'analyse.

### 3.7. Valeurs de mesure à analyser avec valeurs limites pour la zone d'essai 5

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs limites pour les valeurs de mesure à analyser dans la zone d'essai 5 qui, conformément à l'art. 31, ch. 2.1, feuille n° 2 N DE-OCF, doivent être respectées pour les études de cas spécifiques requises sur les tronçons avec  $R < 250$  m.

Zone d'essai 5				
Rayon		144 m $\leq$ R < 250 m		
Rayon de courbure moyen $R_m$		200 m $\pm$ 10 m		
Accélération transversale $a_q$ pour l'analyse réalisée dans le cadre de l'essai de marche <sup>26</sup> (insuffisance de dévers id)	Catégorie de train R:	$a_{q,cont} = 0.935$ m/s <sup>2</sup> (id <sub>cont</sub> = 143 mm)	$a_{q,adm} = 0.85$ m/s <sup>2</sup> (id <sub>adm</sub> = 130 mm)	
	Catégorie de train A:	$a_{q,cont} = 0.8$ m/s <sup>2</sup> (id <sub>cont</sub> = 122 mm)	$a_{q,adm} = 0.72$ m/s <sup>2</sup> (id <sub>adm</sub> = 110 mm)	
Unité de mesure:	Valeur limite:	Référence:	Filtre, statistique:	Remarques:
Sécurité <sup>27</sup> /somme des forces de guidage (forces de ripage): $(\Sigma Y)_{2m}$				
$(\Sigma Y)_{max}$ [kN]	$(\Sigma Y)_{max,lim} = 0.85 \cdot \left(10 + \frac{P_{F0}}{3}\right)$	DE-OCF art. 31 feuille n° 2 N, EN 14363, tableau 4	Filtre passe-bas 20 Hz Moyenne glissante sur 2 m $\Delta x \leq 0.5$ m h = 0.15 % / 99.85 %	Voies de la pleine voie  Cf. R I-50127, chiffre 3.4.
Sécurité <sup>27</sup> /quotient de sécurité au déraillement: $(Y/Q)_{2m}$				
$(Y/Q)_{a,max}$ [-]	$((Y/Q)_{a,max,lim} = 0.8)$	(EN 14363, tableau 4)	Cf. ci-avant	(Dans courbes d'un rayon $R \geq 250$ m)
	$(Y/Q)_{a,max,lim} = 1.0$	R I-50127, chiffre 3.5.1.		Dans pleines courbes d'un rayon $R < 250$ m
	$(Y/Q)_{a,lim} = 1.2$	(Nadal)		Dans courbes de raccordement

<sup>26</sup> Cf. chiffre 2.6. Insuffisance de dévers en zone d'essai 5.

<sup>27</sup> Valeur escomptée à évaluer pour  $a_q = 1.1 \cdot a_{q,adm}$  ( $a_{q,cont}$ ). Si la valeur escomptée est plus élevée avec une valeur  $a_q$  plus basse, on applique  $a_q = 0.7 \cdot a_{q,adm}$ .

Fatigue de la voie (horizontale – verticale) <sup>28</sup> /force de guidage quasi-statique $Y_{qst}$ , force de guidage $Y_{max}$ – charge de roue quasi-statique $Q_{qst}$ , charge de roue $Q_{max}$ – effort de sollicitation de la voie quasi-statique $B_{qst}$ – quotients quasi-statiques $(Y/Q)_{a,qst}$ et $(Y/Q)_{i,qst}$				
$Y_{a,qst}$ [kN]	Wagons et voitures: $Y_{a,qst,lim} = 60$ kN Locs/rames automotrices: $Y_{a,qst,lim} = 70$ kN	R I-50127, chiffre 3.1.6.	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 50$ %	Cf. R I-50127, chiffre 3.9.
$Y_{a,max}$ [kN]	$Y_{a,max,lim} = 110$ kN	R I-50127, chiffre 3.1.6.	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 0.15$ % / 99.85 %	
$Q_{a,qst}$ [kN]	$Q_{a,qst,lim} = 145$ kN	DE-OCF art. 31 feuille n° 2 N, EN 14363 tableau 4	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 50$ %	Cf. R I-50127, chiffre 3.1.5.
$Q_{a,max}$ [kN]	$Q_{a,max,lim} = 90$ kN + $Q_0$ ; 180 kN	EN 14363 tableau 4, R I-50127, chiffre 3.1.5.	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 99.85$ %	
$B_{a,qst}$ [kN] $B_{a,qst} =  Y_{a,qst}  + 0.83 \cdot Q_{a,qst}$	Wagons et voitures: $B_{a,qst,lim} = 170$ kN Rames automotrices: $B_{a,qst,lim} = 175$ kN Locomotives: $B_{a,qst,lim} = 180$ kN	R I-50127, chiffre 3.2.	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 50$ %	Cf.: fiche UIC 518 et EN 14363, annexe J
$(Y/Q)_{a,qst}$ [-]	$(Y/Q)_{a,qst,lim} = 0.6$	R I-50127, chiffre 3.5.2.	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 50$ %	
$(Y/Q)_{i,qst}$ [-]	Le rapport minimal $(Y/Q)_{i,qst}$ doit être défini de manière spécifique au véhicule.	R I-50127, chiffre 3.9.	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. $h = 50$ %	En remplacement du coefficient de frottement $\mu$

Tab. 3-4: valeurs cibles et valeurs limites

Tant que d'autres conditions d'essai n'ont pas été définies, les conditions-cadres spécifiées dans la norme EN 14363 et dans la fiche UIC 518 doivent être respectées. Toutes les valeurs limites<sup>29</sup> ont été vérifiées dans le cadre des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB.

$P_0$ , ou  $2Q_0$ , est la charge par essieu statistique des essieux équipés de dispositifs de mesure conformément au calibrage des essieux de mesure (cf. chiffre 3.1.1.).

<sup>28</sup> Valeur escomptée à évaluer pour les valeurs maximales avec  $a_q = 1.1 \cdot a_{q,adm}$  ( $a_{q,cont}$ ) et pour les valeurs quasi-statiques avec  $a_q = 1.0 \cdot a_{q,adm}$ .

<sup>29</sup> EN 14363, chiffre 7.5.1, remarque 1: «Les valeurs limites indiquées reflètent l'usage international et sont déterminées par l'UIC. Ces valeurs peuvent diverger dans le cadre d'un usage national ou multinational. Des valeurs limites divergentes s'avèrent ainsi possibles ou nécessaires si les conditions de la voie diffèrent de celles utilisées comme base par l'UIC. C'est par exemple le cas des systèmes avec voie de roulement fixe, des rails renforcés ou des conditions particulières des lignes de faite.»

### 3.8. Valeurs de mesure supplémentaires à documenter

Le tableau suivant regroupe les valeurs de mesure supplémentaires à documenter concernant la fatigue de la voie:

Fatigue de la voie/paramètres supplémentaires à documenter: effort de sollicitation de la voie $B_{\max}$ – variation de contact $\Delta y_R$ – force longitudinale à la roue quasi-statique $T_{x,a,qst}$ , détérioration de la surface du rail quasi-statique $T_{a,qst}$				
Unité de mesure:	Explication:	Référence:	Filtre, statistique:	Remarques:
$B_{a,\max}$ [kN]	$B_{a,\max} =  Y_{a,\max}  + 0.91 \cdot Q_{a,\max}$ (sans valeur limite)	R I-50127, chiffre 3.3., EN 14363, annexe J	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. h = 99.85 %	
$\Delta y_R$ [mm]	Valeur de mesure tirée du système des essieux de mesure (sans valeur limite)	R I-50127, chiffre 3.3.	Filtre passe-bas 1 Hz/échant. h = 50 %	
$T_{x,a,qst}$ [kN]	Valeur de mesure tirée de $T_x$ (sans valeur limite)	R I-50127, chiffre 3.3., EN 14363, annexe K	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. h = 50 %	Lorsque les forces $T_x$ peuvent être mesurées
$T_{a,qst}$ [-]	Calcul à partir de $T_{x,a,qst}$ , $Q_{a,qst}$ et $(Y/Q)_{a,qst}$ (sans valeur limite)	R I-50127, chiffre 3.3., EN 14363, annexe K	Filtre passe-bas 20 Hz/échant. h = 50 %	Lorsque les forces $T_x$ peuvent être mesurées

Tab. 3-5: valeurs de mesure supplémentaires à documenter

### 3.9. Analyse et représentation des résultats de mesure

Conformément au chiffre 3, les résultats de mesure doivent être analysés et représentés en deux dimensions à l'appui de l'EN 14363 et/ou de la fiche UIC 518. Les courbes de raccordement doivent également être analysées et documentées.

En raison des conditions de frottement, seuls les résultats obtenus sur des rails secs peuvent être pris en compte dans l'analyse<sup>30</sup> [coefficient de frottement suffisamment élevé, mais sans exigence minimale générale pour la valeur moyenne du rapport  $Y/Q$  ( $Y/Q$ )<sub>i,qst</sub> sur le rail intérieur pour l'ensemble de la section]. Le coefficient de frottement  $\mu$ , ou le rapport minimal représentatif ( $Y/Q$ )<sub>i,qst</sub>, doit être calculé au cas par cas, défini de manière spécifique au véhicule et documenté clairement dans le rapport d'essai<sup>31</sup>.

Un nouveau calcul unilatéral de la valeur statistique escomptée pour les forces de guidage quasi-statiques de la roue à l'aide de la valeur de mesure ( $Y/Q$ )<sub>i,qst</sub> au sens de la norme EN 14363 et de la fiche UIC 518 n'est pas autorisé dans la zone d'essai<sup>32</sup>.

Une humidité de l'air accrue, p. ex. en raison de courses de nuit, peut être tolérée à titre exceptionnel après entente avec Accès technique au réseau de CFF Infrastructure, et doit également être consignée dans le procès-verbal ou le rapport d'essai.

<sup>30</sup> Coefficient de frottement  $\mu$  suffisamment élevé, c'est-à-dire rails secs dans des conditions météorologiques appropriées (idéalement, période chaude sans précipitations).

<sup>31</sup> La valeur de mesure ( $Y/Q$ )<sub>i,qst</sub> sur la roue située à l'intérieur de la courbe de l'essieu de guidage est utilisée comme «rapport d'adhérence» pour constater les conditions de frottement pendant l'essai de marche. Les résultats des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB montrent que la valeur de mesure ( $Y/Q$ )<sub>i,qst</sub> dans les courbes de petit rayon ( $250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}$ ) et de très petit rayon ( $R < 250 \text{ m}$ ) est influencée de manière décisive par la conception de l'organe de roulement (type de guidage des essieux). La consigne répandue de ne prendre en compte que les sections d'analyse présentant des coefficients de frottement ( $Y/Q$ )<sub>i</sub>  $\geq 0.36$  s'applique donc uniquement aux conceptions d'organes de roulement rigides, qui ne sont pas du tout ou peu réglables au niveau radial et pour lesquelles on observe par conséquent un mauvais alignement d'angle entre l'orientation tangentielle de la voie et la direction de roulement de l'essieu («angle d'attaque  $\alpha$ » entre la roue et le rail). Pour les conceptions d'organes de roulement souples, autodirectrices ou asservies, qui sont réglables au niveau radial, le rapport minimal pertinent doit être calculé au cas par cas et défini de manière spécifique au véhicule.

Afin que les conditions de frottement effectives pendant l'essai de marche réalisé (coefficients de frottement) soient rendues de manière réaliste pour la démonstration de la sécurité, les résultats doivent être analysés et évalués en détail. L'exclusion de certaines sections d'analyse dans le cadre de la démonstration de la sécurité doit être consignée et motivée.

<sup>32</sup> «Normalisation des coefficients de frottement»: les véhicules pour lesquels les mesures ont été effectuées avec des coefficients de frottement élevés (temps sec) ne doivent pas être pénalisés (afin de permettre la comparabilité des résultats de mesure des véhicules, les conditions météorologiques ne doivent pas influencer sur les valeurs escomptées). Puisque les résultats des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB montrent que la valeur de mesure ( $Y/Q$ )<sub>i,qst</sub> dans les courbes de très petit rayon  $R < 250 \text{ m}$  est influencée non seulement par les conditions de frottement effectives (coefficients de frottement), mais aussi de manière décisive par la conception de l'organe de roulement, un nouveau calcul unilatéral n'est pas autorisé.

Les résultats obtenus après le nouveau calcul peuvent être documentés dans le rapport d'essai à titre d'information complémentaire. Les différentes valeurs ( $Y_{qst}$ )<sub>i</sub> des tronçons de voie «i» sur lesquels ( $Y/Q$ )<sub>i</sub> dépasse 0.40 doivent alors être remplacées par les valeurs suivantes: ( $Y_{qst}$ )<sub>i</sub> -  $50 \cdot [(Y/Q)_i - 0.4]$ .

### 3.9.1. Autres attestations pour la zone d'essai 5 (véhicules ayant déjà subi un essai de marche)

Si, pour des véhicules ayant déjà subi un essai de marche, des attestations ont été produites pour la zone d'essai 5 mais dans d'autres conditions-cadres d'exploitation (p. ex. en Autriche<sup>33</sup>), il est possible de les compléter par une analyse et une représentation des résultats de mesure obtenus lors de cet essai de marche pour les conditions d'exploitation suisses.

Cependant, étant donné que le transfert de l'attestation depuis d'autres tronçons présentant des conditions d'exploitation différentes n'est pas possible suite aux résultats des études de base menées par le groupe Technique de conduite OFT / CFF / BLS / SOB, il convient de définir pour chaque véhicule et chaque projet si l'attestation déjà produite est suffisante ou s'il faut en produire une nouvelle.

Pour être complète, l'attestation doit comporter, outre les analyses supplémentaires spécifiques aux conditions d'exploitation suisses, le rapport d'essai initial. Les analyses spécifiques aux conditions suisses pour la zone d'essai 5 doivent être récapitulées dans un rapport d'analyse complémentaire fournissant des informations plausibles et claires sur toutes les grandeurs, conditions-cadres, etc. déterminantes pour l'évaluation (ce rapport doit par exemple expliquer la correction éventuelle de la valeur Y des essieux de mesure dans les courbes de petit rayon).

### 3.10. Disposition des essieux de mesure, sens de la marche et configuration des véhicules

Tant que d'autres conditions d'essai n'ont pas été définies, les conditions-cadres spécifiées dans la norme EN 14363 et dans la fiche UIC 518 doivent être respectées. Pour effectuer l'essai, le requérant choisit, comme dans le cadre de l'essai standardisé, les organes de roulement ou les essieux les plus défavorables du point de vue du comportement dynamique. Les essais des rames automotrices, des locomotives et des voitures/wagons<sup>34</sup> portent normalement sur les essieux présentant les charges de roue les plus élevées à l'état brut (véhicule chargé), ainsi que sur les essieux affichant les charges de roue les plus faibles à l'état de tare (véhicule vide prêt à fonctionner), car l'expérience montre que ceux-ci possèdent les états les plus défavorables en matière de sécurité  $(\Sigma Y)_{\max}$  et  $(Y/Q)_{a,\max}$ . En fonction de l'appréciation des risques et de la spécification du requérant, ainsi que de la concertation avec l'OFT et Accès technique au réseau de CFF Infrastructure, l'essai de marche peut cependant concerner un autre état.

<sup>33</sup> En Autriche, les tests pour la zone d'essai 5 ( $R < 250$  m) sont généralement réalisés sur le tronçon Gloggnitz – Semmering.

<sup>34</sup> Les wagons comportent de nombreux composants standardisés. La norme EN 16235 (fiche UIC 432) décrit les conditions que les wagons dotés d'un organe de roulement standard doivent respecter pour être homologués sans essais au sens de la norme EN 14363 (f. UIC 518). Si les wagons ne remplissent pas ces conditions et ne sont pas dispensés des essais en ligne, les exigences s'appliquent aux voitures. Les wagons comportant trois essieux par bogie (ou plus) doivent faire l'objet d'une demande spécifique et être évalués au cas par cas.

Si d'autres véhicules requis pour les essais (p. ex. locomotive, wagon-frein ou wagon de mesure) n'ont pas encore fait leurs preuves<sup>35</sup> sur des tronçons présentant des courbes de rayon  $R < 250$  m et ne sont pas équipés d'essieux de mesure, le requérant doit impérativement s'assurer que ces véhicules peuvent eux aussi circuler en toute sécurité sur de telles courbes.

### 3.10.1. Sens de la marche

Afin que la population de sections d'analyse déterminantes pour l'évaluation soit la plus importante possible, le ou les tronçon(s) de référence doit/doivent être parcouru/s dans les deux sens (les essieux de mesure se trouvant alternativement devant et derrière). Cela signifie qu'il faut procéder à un rebroussement des véhicules.

Étant donné que le ou les tronçon(s) de référence est/sont parcouru/s dans les deux sens avec des essieux de mesure se trouvant alternativement devant et derrière, certaines sections d'analyse peuvent être utilisées plusieurs fois dans le cadre de l'analyse statistique si l'insuffisance de dévers des différentes courses de mesure diffère de plus de  $0.05 \cdot id_{adm}$ .

### 3.10.2. Configuration des véhicules

Dans la mesure où les conditions de l'essai doivent être les plus proches possible des conditions d'exploitation, le véhicule à contrôler doit être positionné à sa place «habituelle» au sein de la composition d'essai et il faut présenter, pour les véhicules moteurs, une attestation concernant l'influence de la traction. C'est pourquoi les véhicules moteurs (rames automotrices et locomotives) effectuent les courses de mesure en traction autonome<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> Véhicules affichant une expérience d'exploitation positive suffisante sur des tronçons de ce type (cf. chiffre 1.2.).

<sup>36</sup> S'il n'est pas possible d'effectuer les courses de mesure en traction autonome (p. ex. en raison d'une puissance de freinage et d'entraînement fortement réduite), le véhicule à contrôler peut être remorqué, après entente avec Accès technique au réseau de CFF Infrastructure.



### 3.11. Comportement en cas de défaillance (états de véhicule exceptionnels)

Les courses de mesure pour la zone d'essai 5 doivent être réalisées dans les modes d'exploitation nominaux (sans scénario de défaillance).

Des études complémentaires quant au comportement en cas de défaillance deviennent nécessaires lorsqu'il ne peut être exclu qu'une défaillance ait des répercussions négatives sur la sécurité et sur la fatigue de la voie.

#### 3.11.1. États de défaillance ayant une incidence en matière de comportement dynamique

En fonction de l'appréciation des risques fournie par le requérant et de l'évaluation correspondante par l'OFT ainsi que par Accès technique au réseau de CFF Infrastructure, il peut être nécessaire d'exécuter des courses d'essai dans les états de défaillance ayant une incidence du point de vue du comportement dynamique sur les grandeurs d'appréciation, et qui ne doivent pas restreindre la sécurité du véhicule (p. ex. suspension pneumatique dépourvue d'air en raison de la modification du couple de desserrage du bogie, défaillance d'un amortisseur anti-lacet).

À l'appui de l'EN 14363, ces états de véhicule exceptionnels sont contrôlés (uniquement) jusqu'à la vitesse maximale d'exploitation correspondante ou l'insuffisance de dévers autorisée.

#### 3.11.2. Défaillance des systèmes actifs

Des courses d'essai doivent être réalisées selon les états de défaillance des systèmes actifs techniquement pertinents pour les grandeurs d'appréciation (p. ex. technique d'inclinaison, amortisseurs anti-lacets commutables, amortisseurs rotatifs actifs). Là encore, est admise une appréciation des risques par le requérant visant à déterminer si ces états de défaillance doivent faire l'objet d'examens techniques.

À l'appui de l'EN 14363, ces états de véhicule exceptionnels sont contrôlés (uniquement) jusqu'à la vitesse maximale d'exploitation correspondante ou l'insuffisance de dévers autorisée.

### 3.12. Lubrification des boudins de roue

Alors que les courses de mesure pour la zone d'essai 5 doivent être effectuées dans un état le plus proche possible de l'état d'exploitation et que l'état de lubrification de la pleine voie peut être considéré comme «saturé», la lubrification des boudins de roue doit être déclenchée, selon la fiche UIC 518 (chiffre 6.4.4.), pour les courses d'essai contrairement au service normal, car son paramétrage (fréquence/intervalle de lubrification, quantité de lubrifiant, graisse utilisée, etc.) peut avoir une influence non négligeable sur les résultats de mesure (conditions de frottement).

### 3.13. État de lubrification des tampons et état des attelages

Pour les attelages à vis, l'état de lubrification des tampons et l'état des attelages<sup>37</sup> doivent être les mêmes que pour le service normal afin d'obtenir des conditions de frottement les plus proches possible des conditions d'exploitation.

### 3.14. État du véhicule

Le véhicule doit être équipé d'essieux de mesure<sup>38</sup> pour l'essai de marche dans la zone d'essai 5 (méthode de mesure normale), car seule cette méthode de mesure permet d'évaluer également la fatigue de la voie. Il doit en outre se trouver dans un état d'agencement en ordre de marche et conforme à la série (cf. EN 14363, chiffre 5.3).

Dans certains cas exceptionnels et justifiés<sup>39</sup>, après entente avec l'OFT et Accès technique au réseau de CFF Infrastructure, un essai sans essieux de mesure (méthode de mesure simplifiée) ou dans un état d'agencement proche de celui de la série<sup>40</sup> peut être accepté.

---

<sup>37</sup> Les véhicules équipés de tampons latéraux et d'attelages à vis doivent être attelés «normalement», c'est-à-dire que les attelages à vis doivent être serrés dans l'alignement jusqu'à ce que les deux plaques des tampons soient en place. Si les courses de mesure laissent supposer que les forces des tampons latéraux influent fortement sur les forces de guidage mesurées, il est possible, pour une meilleure compréhension du système, d'effectuer des courses de mesure complémentaires en desserrant l'attelage à vis et de les documenter dans le rapport d'essai.

<sup>38</sup> Le cas échéant, les analyses complémentaires selon la méthode de mesure simplifiée doivent être ajoutées au rapport d'essai (à des fins de contrôle de plausibilité et de compréhension du système).

<sup>39</sup> Un cas exceptionnel justifié peut par exemple être la modification technique *a posteriori* d'un véhicule déjà contrôlé pour la zone d'essai 5, et pour lequel on peut prouver de manière techniquement plausible et claire que cette modification n'a pas de répercussions négatives sur les propriétés du comportement dynamique.

<sup>40</sup> Les valeurs de tolérance appliquées sont les mêmes que celles utilisées lors de la comparaison des paramètres selon l'EN 14363 pour l'état d'agencement ou le poids du véhicule, compte tenu des états de charge exposés au chiffre 3.15.

### 3.15. États de charge

En vertu de la norme EN 14363, l'état de charge reproduit doit correspondre à la charge habituellement transportée en régime d'exploitation. L'entrée en vigueur des DE-OCF 2012 au 1<sup>er</sup> juillet 2012 a radicalement modifié la définition des états de charge. Désormais, conformément à l'art. 47, feuille n° 1, chiffre 2.6 DE-OCF, il faut en principe respecter pour le chargement des véhicules en Suisse les consignes de la norme EN 15663 (Applications ferroviaires – Définitions des masses de référence des véhicules). Si, du point de vue de l'exploitation, il est possible de garantir une limitation du chargement, des valeurs inférieures à celles indiquées ci-après peuvent être admises.

#### 3.15.1. États de charge pour les trains à grande vitesse et les trains du trafic grandes lignes<sup>41</sup>

Pour es trains à grande vitesse et grandes lignes (voitures et rames automotrices, y c. véhicules à grande vitesse interoperables construits et homologués selon les STI), on applique la masse de conception pour charge normale conformément à la norme EN 15663, chiffre 7.2, avec une variation:

Charge	par m <sup>2</sup> de surface effective de places debout et de restauration <sup>42</sup>	par personne assise ou debout avec bagage à main
Trafic grandes lignes	Surface de places debout 160 kg (2 personnes) <sup>43</sup> Surface de restauration 100 kg (1.25 personne)	Masse d'un passager = 80 kg 100% des sièges occupés
Compartiments à bagages	<u>par m<sup>2</sup> de surface au sol:</u> 300 kg	
Zones à bagages	<u>par m<sup>2</sup> de surface au sol:</u> 0 kg	

Tab. 3-6: états de charge pour les trains à grande vitesse et les trains du trafic grandes lignes conformément à la norme EN 15663

<sup>41</sup> Cette définition est valable uniquement pour l'essai de marche; elle ne peut pas être utilisée comme charge par essieu déterminante pour la répartition dans les catégories de ligne. Pour l'accès au réseau et la définition de la charge par essieu maximale déterminante, c'est la masse de conception en cas de charge exceptionnelle qui s'applique (cf. R I-50064).

<sup>42</sup> Pour les escaliers intérieurs, il convient de prendre en compte la moitié de la surface projetée (50% de la charge des places debout).

<sup>43</sup> À la différence de l'EN 15663 et conformément à l'EN 15528. La charge de 2 personnes (160 kg) par m<sup>2</sup> de surface effective de places debout correspond aux exigences minimales et aux conditions du trafic grandes lignes en Suisse (cf. R I-50064).

### 3.15.2. États de charge pour les véhicules voyageurs à l'exception des trains à grande vitesse et des trains du trafic grandes lignes<sup>44</sup>

Pour les véhicules voyageurs ne relevant pas du chiffre 3.15.1. (p. ex. trafic InterRegio, RER et régional, y c. véhicules du trafic de proximité interopérables construits et homologués selon les STI), on applique la masse de conception pour charge normale conformément à la norme EN 15663, chiffre 7.3:

Charge	par m <sup>2</sup> de surface effective de places debout et de restauration <sup>45</sup>	par personne assise ou debout avec bagage à main
Trafic régional et périurbain	280 kg (4 personnes) <sup>46</sup>	Masse d'un passager = 70 kg 100% des sièges occupés
Compartiments à bagages	<u>par m<sup>2</sup> de surface au sol:</u> 300 kg	
Zones à bagages	<u>par m<sup>2</sup> de surface au sol:</u> 100 kg	

Tab. 3-7: états de charge pour les véhicules voyageurs à l'exception des trains à grande vitesse et des trains du trafic grandes lignes conformément à la norme EN 15663

### 3.15.3. États de charge conformément aux DE-OCF

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2012, les états de charge conformément à l'art. 47, feuille n° 2, chiffre 2.7 DE-OCF ne s'appliquent plus que pour les véhicules du réseau à voie étroite et les tramways ainsi que pour les véhicules du réseau à voie normale dont le cahier des charges a été approuvé par l'OFT avant cette date.

<sup>44</sup> Cette définition est valable uniquement pour l'essai de marche; elle ne peut pas être utilisée comme charge par essieu déterminante pour la répartition dans les catégories de ligne. Pour l'accès au réseau et la définition de la charge par essieu maximale déterminante, c'est la masse de conception en cas de charge exceptionnelle qui s'applique (cf. R I-50064).

<sup>45</sup> Pour les escaliers intérieurs, il convient de prendre en compte la moitié de la surface projetée (50% de la charge des places debout).

<sup>46</sup> Selon l'EN 15663 et l'EN 15528. La charge de 4 personnes (280 kg) par m<sup>2</sup> de surface effective de places debout correspond aux exigences minimales et aux conditions du trafic de proximité en Suisse (cf. R I-50064).

### 3.16. Profil de roue

Conformément à la norme EN 14363 (chiffre 5.4.3.3), l'essai de marche sur des tronçons présentant des courbes de rayon  $R < 250$  m doit être effectué avec des profils de roue proches de ceux utilisés en régime d'exploitation et présentant une usure représentative de l'usure des profils de roue utilisés sur ce type de véhicule. Comme pour tous les autres essais en ligne, ces profils de roue peuvent

- avoir été usés naturellement lors de l'exploitation,  
ou
- avoir été usés artificiellement en vue de l'essai.

Si les essais en ligne sont effectués avec des profils de roue neufs, le requérant doit prouver au moyen d'examen appropriés que les propriétés constatées du point de vue du comportement dynamique ne vont pas se développer négativement au-delà des valeurs admissibles suite à l'évolution des profils de roue.

### 3.17. Facteurs pour la correction de la géométrie de la voie

Depuis l'introduction du nouveau véhicule de diagnostic de CFF Infrastructure, les mesures de la géométrie de la voie sont exécutées conformément à la norme EN 13848-1. En d'autres termes, les facteurs pour la correction simplifiée de la géométrie de la voie indiqués dans le tableau M.2, EN 14363 ne sont plus applicables aux mesures actuelles de la géométrie de la voie de CFF Infrastructure. Les données fournies actuellement en la matière par Surveillance de CFF Infrastructure (I-AT-UEW) ne nécessitent plus aucune correction dans le cadre d'une évaluation du comportement dynamique des véhicules.

### 3.18. Simulations

Les éventuelles considérations théoriques, par exemple les simulations, reposant sur un modèle de simulation convenablement validé avec une étendue de modélisation suffisante, ne sont acceptés que dans des cas exceptionnels dûment justifiés<sup>47</sup>, après entente avec l'OFT et CFF Infrastructure Accès technique au réseau, et uniquement avec une marge de sécurité supplémentaire (marge de sécurité d'au moins 10% par rapport à la valeur limite). Toutefois, il peut souvent s'avérer utile d'élaborer une simulation pendant la phase de construction des véhicules afin de garantir le respect des valeurs limites lors des calculs.

---

<sup>47</sup> Un cas exceptionnel justifié peut par exemple être la modification technique *a posteriori* d'un véhicule déjà contrôlé pour la zone d'essai 5, et pour lequel on peut prouver de manière plausible et claire, au moyen d'un modèle de simulation suffisamment validé, que cette modification n'a pas de répercussions négatives sur les propriétés du comportement dynamique.

#### 4. Index pour la démonstration de la sécurité

L'index ci-dessous vise à retrouver dans la présente réglementation tous les points pertinents pour la démonstration de la sécurité:

• Charge par essieu (poids par essieu)	Cf. chiffre 3.1.
• Comportement en cas de défaillance (états de véhicule exceptionnels)	Cf. chiffre 3.11.
• États de charge	Cf. chiffre 3.15.
• Sens de la marche	Cf. chiffre 3.10.1.
• Configuration des véhicules	Cf. chiffre 3.10.2.
• État du véhicule	Cf. chiffre 3.14.
• Force de guidage	Cf. chiffre 3.1.
• Vitesse	Cf. chiffre 2.7.
• Effort de sollicitation de la voie	Cf. chiffre 3.2.
• Correction de la géométrie de la voie	Cf. chiffre 3.17.
• Force de ripage	Cf. chiffre 3.4.
• Valeurs limites	Cf. chiffres 2.7. et 3.7.
• État des attelages	Cf. chiffre 3.13.
• Utilisation multiple de sections d'analyse	Cf. chiffre 3.10.1.
• Mesures	Cf. chiffres 3.7., 3.8. et 3.9.
• Essieux de mesure	Cf. chiffres 3.10. et 3.14.
• Conditions d'essai	Cf. chiffre 3.6.
• État des tampons	Cf. chiffre 3.13.
• Force d'appui de la roue	Cf. chiffre 3.1.
• Profil de roue	Cf. chiffre 3.16.
• Tronçons de référence	Cf. chiffres 2.3. et 2.4.
• État du rail	Cf. chiffres 3.9. et 3.17.
• Sécurité au déraillement	Cf. chiffre 3.5.1.
• Simulations	Cf. chiffre 3.18.
• Lubrification des boudins de roue	Cf. chiffre 3.2.
• Traction (véhicules moteurs)	Cf. chiffre 3.10.2.
• Tracé et superstructure	Cf. chiffre 2.5.
• Insuffisance de dévers	Cf. chiffres 2.6. et 3.7.
• Attestation simplifiée	Cf. chiffre 2.4.

Tab. 3-8: index pour la démonstration de la sécurité

## 5. Documentation

Les résultats des courses d'essai dans la zone d'essai 5 doivent être consignés dans un rapport d'essai technique séparé ou dans un chapitre distinct du rapport d'essai technique conformément à la norme EN 14363. L'attestation relative aux courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) du réseau ferroviaire de CFF Infrastructure et d'autres GI fait partie intégrante de la déclaration de non-opposition à l'interaction roue-rail délivrée par Accès technique au réseau de CFF Infrastructure.

Sont également requis pour l'élaboration de la déclaration de non-opposition concernant la technique de conduite un rapport d'essai technique établi conformément à la norme EN 14363, compte tenu des examens particuliers exigés par la réglementation suisse, ainsi que, le cas échéant, une évaluation définitive du comportement dynamique (expertise) pour les résultats d'essai normatifs obtenus et documentés dans le rapport d'essai.

Sans attestation correspondante pour les courbes de très petit rayon ( $R < 250$  m) du réseau ferroviaire de CFF Infrastructure et d'autres GI, les tronçons présentant une forte densité de rayons  $R < 250$  m ne peuvent pas être empruntés.

sig. I-AT-FW

sig. I-AT-FW-TNZ

Stefan Sommer  
Responsable FW

Thomas Falk  
Responsable TNZ

## Annexe A Tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon $R < 250$ m (ensemble du réseau à voie normale)

### A.1 Carte synoptique des tronçons présentant une forte densité de courbes de très petit rayon $R < 250$ m

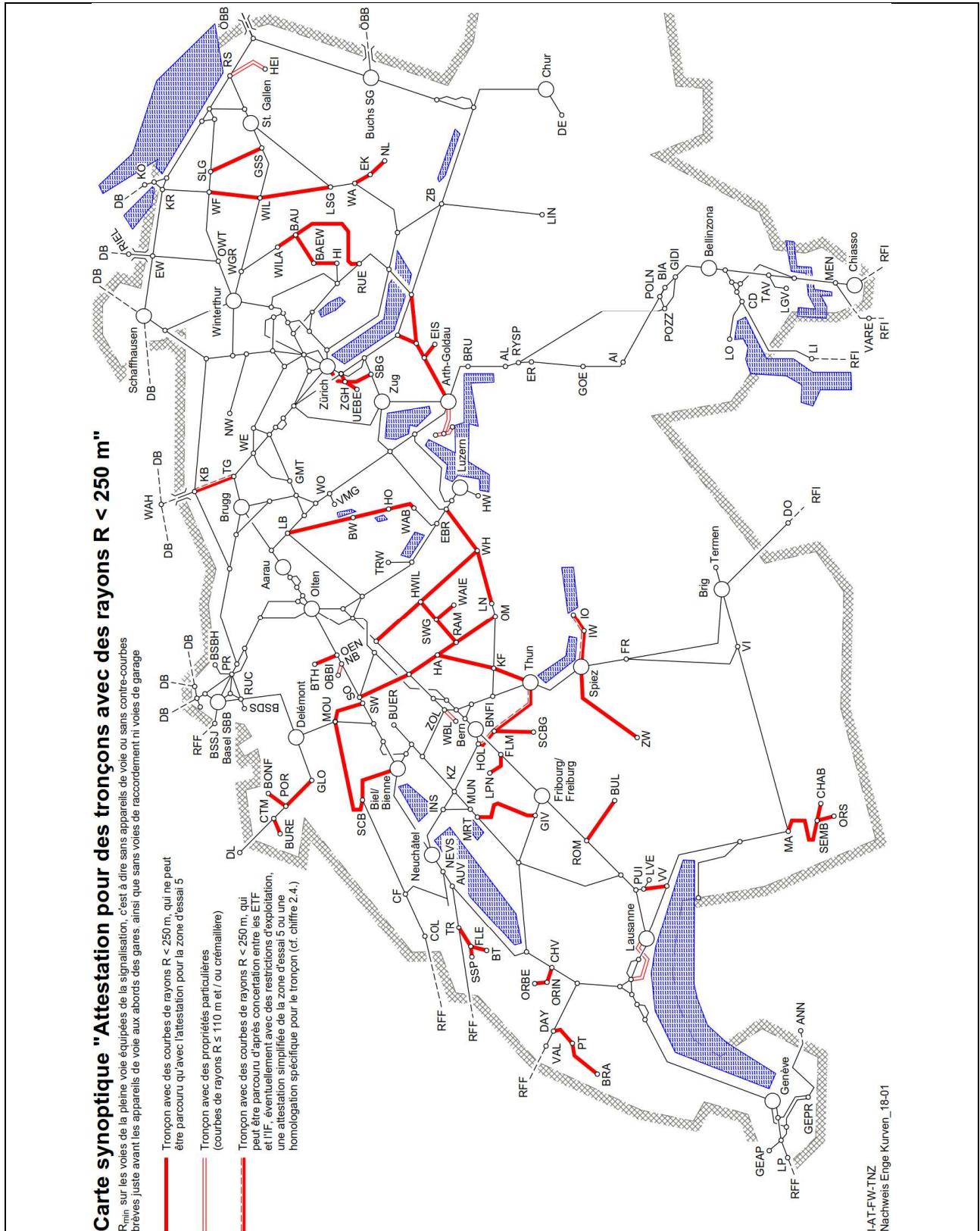


Fig. A-1: carte synoptique des tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon  $R < 250$  m (source: CFF I-AT-FW-TNZ)



## A.2 Tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon R < 250 m

Numéro de tronçon OFT:	De:	À:	Rayon de courbure minimal R <sub>min</sub> : <sup>31</sup>	GI (tronçon):
102	Renens VD	Lausanne Flon	78 m	TL (PEL spécial)
111	Vevey	Puidoux-Chexbres	243 m (180 m)	CFF (sans VR Zone Industrielle du Verney)
133.1	Martigny	Sembrancher	179 m	TMR
133.2	Sembrancher	Orsières	150 m	TMR
134	Sembrancher	Le Châble	150 m	TMR
201.1	Le Day	Le Pont	150 m	CFF
201.2	Le Pont	Le Brassus	150 m	TRAVYS
211	Chavornay	Orbe Industrie	130 m	TRAVYS
211	Orbe Industrie	Orbe	150 m	TRAVYS
224.1	Travers	Fleurier	150 m	transN
224.2	Fleurier	Buttes	150 m	transN
224.3	Fleurier	St-Sulpice	150 m	transN
225.1	Biel/Bienne	Sonceboz-Sombeval	242 m (200 m)	CFF
226.2	Moutier – Tavannes	Sonceboz-Sombeval	246 m (185 m)	CFF
238	Porrentruy	Bonfol	222 m	CJ
239	Courtemaîche	Bure	199 m	CFF/voie détenue par l'armée
240.1	Glovelier	Porrentruy	231 m (222 m)	CFF
254	Romont	Bulle	237 m	TPF
255.2	Murten	Givisiez	173 m	TPF
291	Flamatt	Laupen	190 m (158 m)	CFF/STB
297.1	Bern Holligen (bifurcation)	Bern Fischermätteli	185 m	BLS Netz AG
297.2	Bern Fischermätteli	Schwarzenburg	179 m (126 m)	BLS Netz AG
298	Bern Fischermätteli	Thun	215 m (120 m)	BLS Netz AG
301.2	Spiez	Interlaken Ost	210 m (137 m)	BLS Netz AG
320	Spiez	Zweisimmen	185 m	BLS Netz AG
411	Solothurn West – Weissensteintunnel	Moutier	208 m (111 m)	BLS Netz AG
412	Oensingen	Balsthal	230 m	OeBB
413	Niederbipp	Oberbipp	100 m	ASm (VR à trois rails)
420	Zollikofen	Worblaufen	110 m	RBS (VR à trois rails)
440	Burgdorf	Solothurn	205 m (136 m)	BLS Netz AG
441.1	Burgdorf	Hasle-Rüegsau	225 m (165 m)	BLS Netz AG
441.2	Hasle-Rüegsau	Ramsei	(246 m) (150 m)	BLS Netz AG

441.3	Ramsei	Obermatt(– Langnau)	206 m	BLS Netz AG
442.1	Thun	Konolfingen	228 m	BLS Netz AG
442.2	Konolfingen	Hasle-Rüegsau	225 m (156 m)	BLS Netz AG
444.1	Ramsei	Sumiswald-Grünen	195 m	BLS Netz AG
444.2	Sumiswald-Grünen	Huttwil	180 m	ETB
445.1	Langenthal	Huttwil	196 m (150 m)	BLS Netz AG
445.2	Huttwil	Wolhusen	230 m (210 m)	BLS Netz AG
451	Sumiswald-Grünen	Wasen im Emmental	150 m (130 m)	ETB
460.3	Langnau	Wolhusen	230 m (194 m)	CFF
460.4	Wolhusen	Fluhmühle (bifurcation) (– Luzern)	241 m (199 m)	CFF
602	Arth-Goldau / Vitznau	Rigi	120 m	RB (roue dentée)
651.1	(Emmenbrücke –) Waldibrücke	Hochdorf	157 m	CFF
651.2	Hochdorf	Beinwil am See	153 m	CFF
651.3	Beinwil am See	Lenzburg	160 m	CFF
670.2	Pfäffikon SZ	Samstagern	216 m	SOB
670.3	Samstagern	Biberbrugg	150 m	SOB
670.4	Biberbrugg	Arth-Goldau	164 m (150 m)	SOB
672.1	Wädenswil	Samstagern	228 m	SOB
672.2	Biberbrugg	Einsiedeln	144 m	SOB
701.1	Turgi	Koblentz	210 m (178 m)	CFF
712.1	Zürich HB (21/22)	Zürich Selnau	150 m	SZU
712.2	Zürich Selnau	Zürich Giesshübel	150 m	SZU
712.3	Zürich Giesshübel – Sihlwald	Sihlbrugg	150 m	SZU
713	Zürich Giesshübel	Uetliberg	121 m	SZU
714	Zürich Wiedikon	Zürich Giesshübel	115 m	CFF/SZU
754.1	Wila	Bauma	246 m	CFF
754.2	Bauma	Rüti ZH	221 m (196 m)	CFF
757.1	Bauma	Bäretswil (incl.)	179 m	DVZO
757.2	Bäretswil (excl.)	Hinwil	173 m	CFF
830.3	Weinfelden	Wil	236 m	CFF
852	Gossau SG	Sulgen	185 m	CFF
857	Rorschach	Heiden	150 m	AB (roue dentée)
870.5	Wattwil	Nesslau-Neu St. Johann	170 m	SOB
872	Lichtensteig	Wil	237 m	CFF

Tab. A-2: liste des tronçons présentant une forte densité de courbes de rayon  $R < 250$  m

Le rayon de courbure minimal  $R_{\min}$  se rapporte aux voies de la pleine voie équipées de la signalisation<sup>48</sup>, c.-à-d. en principe sans appareils de voie ou sans contre-courbes brèves juste avant les appareils de voie aux abords des gares, ainsi que sans voies de raccordement ni voies de garage.

<sup>48</sup> Les valeurs entre parenthèses ne doivent pas obligatoirement être parcourues (p. ex. tronçon de ligne à plusieurs voies).