



Prix de base lié à l'usure dans le prix du sillon

Instructions pour la fixation des prix du véhicule

Gestion de la documentation

Editeur :	Office fédéral des transports, 3003 Berne, section Accès au marché
Nom du document :	Instructions pour la fixation des prix du véhicule
Liste de distribution :	Publication sur le site Internet de l'OFT
Langues :	allemand (version originale), français, italien, anglais
Entrée en vigueur :	Ces instructions entrent en vigueur le 14 mars 2022 ; elles remplacent la version 1.0 du 23 août 2016.

Version	Date	Auteur	Modifications	Statut du document
1.0	23.08.2016	FI/sn	1 ^{ère} édition	remplacé
1.1	14.03.2022	FI/mz	Révision de la première édition	en vigueur

Table des matières

1.	INTRODUCTION	4
2.	PRINCIPES DU PRIX DE BASE LIÉ À L'USURE	5
2.1.	COÛTS DE RÉFÉRENCE DU VÉHICULE ET PRIX DU VÉHICULE AU DÉCOMPTÉ	6
3.	DÉROULEMENT DE LA FIXATION DU PRIX DU VÉHICULE	8
3.1.	RENONCIATION À LA FIXATION DU PRIX DU VÉHICULE	8
3.2.	DÉROULEMENT CHRONOLOGIQUE	8
3.3.	PROCÉDÉ DE CALCUL DU PRIX	9
3.3.1.	ETF/détenteur.....	10
3.3.1.1.	Qualification du service de calcul.....	10
3.3.1.2.	Étendue des travaux	10
3.3.1.3.	Documents.....	11
3.3.2.	Organisme de contrôle indépendant.....	12
3.3.2.1.	Reconnaissance par l'OFT	12
3.3.2.2.	Étendue du contrôle	12
3.3.2.3.	Rapport de contrôle	12
3.3.3.	CFF Infrastructure	12
3.3.4.	Commission des chemins de fer RailCom.....	13
4.	VUE D'ENSEMBLE DU PROCÉDÉ DE CALCUL.....	14
5.	PRINCIPES TECHNIQUES.....	16
5.1.	CATÉGORIE DE VÉHICULES	16
5.2.	CHARGE	16
5.3.	FAMILLE DE VÉHICULES	16
5.4.	TYPE DE VÉHICULE	16
5.5.	COMPARAISON DE PARAMÈTRES	17
5.6.	TYPE DE CHÂSSIS	18
5.7.	CADRE DE CHÂSSIS	19
5.8.	ESSIEU PERTINENT POUR LE DÉGÂT	19
6.	CALCUL DU PRIX DES VÉHICULES.....	21
6.1.	GRANDEURS SAISIES	21
6.2.	CALCUL DES GRANDEURS D'INTERACTION.....	21
6.2.1.	Force dynamique des roues $Q(V)$	21
6.2.1.1.	Vitesses de référence dans les alignements.....	22
6.2.1.2.	Vitesses de référence dans les courbes	23
6.2.2.	Surface de contact	23
6.3.	CALCUL DES COEFFICIENTS DE DÉGÂT.....	25
6.3.1.	Dégât du ballast/perte d'assiette de la voie $D1 = \{Q^3\}$	25
6.3.2.	Défaut de rail de la de la voie en alignement $D2 = \{Q^{1,2}\}$	25
6.3.3.	Défaut de rail de la voie en alignement dû à la traction $D3 = \{T_{pv}\}$	25
6.3.4.	Défaut de rail et usure du rail dans les arcs $D4.1, D4.2 = \{W_b\}$	26
6.3.5.	Dégradation des aiguilles due aux forces verticales et horizontales $D5 =$	26
6.3.6.	Potentiel de dégât du véhicule total	27
6.4.	FACTEURS DE CALIBRAGE DES COÛTS	27
6.5.	CALCUL DU PRIX DES VÉHICULES	28
7.	SIMULATION MULTICORPS	29
7.1.	MODÈLE MULTICORPS	29
7.1.1.	Modélisation	29
7.1.2.	Poids / force d'appui des roues.....	29
7.1.3.	Modélisation de la voie	29
7.1.4.	Contact roue-rail	30
7.1.4.1.	Profil de roue et de rail	30
7.1.4.2.	Écartement des roues et écartement des rails	30
7.1.4.3.	Friction	30
7.2.	SIMULATIONS.....	30
7.2.1.	Simulations pour déterminer l'énergie de frottement spécifique W_b	30

7.2.1.1.	Tracé	30
7.2.1.2.	Défaut de l'assiette de la voie	31
7.2.1.3.	Vitesse / traction.....	32
7.2.2.	Simulation pour déterminer la force transversale dans les aiguilles YW185	33
7.2.2.1.	Tracé	33
7.2.2.2.	Défaut de l'assiette de la voie	33
7.2.2.3.	Vitesse / traction.....	34
7.2.3.	Modèles SIMPACK.....	34
7.3.	ÉVALUATION.....	35
7.3.1.	Évaluation de l'énergie de frottement spécifique W_b	35
7.4.	DOCUMENTATION DES SIMULATIONS MULTICORPS.....	37
7.4.1.	Documentation sur les modèles	37
7.4.2.	Séquence de données de paramètres-types.....	37
7.4.3.	Compte-rendu de calcul.....	37
7.4.4.	Récapitulatifs de résultats.....	38
8.	CALCUL DES COÛTS GROUPÉS.....	39
8.1.	MOTIFS ET PRINCIPES.....	39
8.1.1.	Incertitudes au sujet des données de véhicule	39
8.1.2.	Effets des incertitudes de données sur le calcul des coûts	39
8.1.3.	Coûts groupés originaux du prix de base lié à l'usure.....	40
8.1.4.	Attribution des nouveaux véhicules aux groupes de coûts.....	41
8.1.5.	Coûts significatifs dans une famille de véhicules	42
8.2.	ATTRIBUTION DES COÛTS POUR UN NOUVEAU VÉHICULE.....	43
9.	ABRÉVIATIONS/ SIGNES DES FORMULES.....	46
10.	BIBLIOGRAPHIE	47
11.	CONTACTS	48
11.1.	DÉCOMPTE DU PRIX DU SILLON	48
11.2.	SERVICE SPÉCIALISÉ PRIX DU VÉHICULE.....	48
11.3.	OFT	48
12.	ANNEXE : EXEMPLE DE JEU DE DONNÉES PARAMÉTRIQUES.....	49
12.1.	DONNÉES DE MASSE	49
12.2.	GÉOMÉTRIE	49
12.3.	DONNÉES DES ÉLÉMENTS DE COUPLAGE	51
12.4.	LIGNE CARACTÉRISTIQUE, COURBE DES ÉLÉMENTS DE COUPLAGE	51
13.	ANNEXE : RECONNAISSANCE D'ORGANISME DE CONTRÔLE INDÉPENDANT PAR L'OFT.....	53
13.1.	EXIGENCES DE PRINCIPE.....	53
13.2.	DEMANDE ET EXAMEN	53
13.3.	FORMULAIRE-TYPE	54

1. Introduction

L'introduction du prix de base lié à l'usure dans le nouveau système du prix du sillon (SPS), en vigueur à partir de 2017 implique, conformément à l'ordonnance de l'Office fédéral des transports sur l'accès au réseau ferroviaire (OARF-OFT ; RS 742.122.4) [1], un calcul des prix spécifiques aux véhicules. Le présent document contient les instructions pour ce calcul.

Les chapitres suivants définissent les processus nécessaires à l'évaluation d'un véhicule. Le document présente les tenants et les aboutissants de la nouvelle approche et décrit les étapes du calcul, en expliquant les formules utilisées et les auxiliaires de calcul. Les questions comptables ne sont pas traitées.

2. Principes du prix de base lié à l'usure

Afin de tenir compte des frais d'entretien de la voie dans le prix du sillon en reflétant la vérité des coûts, le SPS 2017 est complété par l'introduction du prix de base lié à l'usure. La Figure 2-1 illustre les bases du calcul du prix.

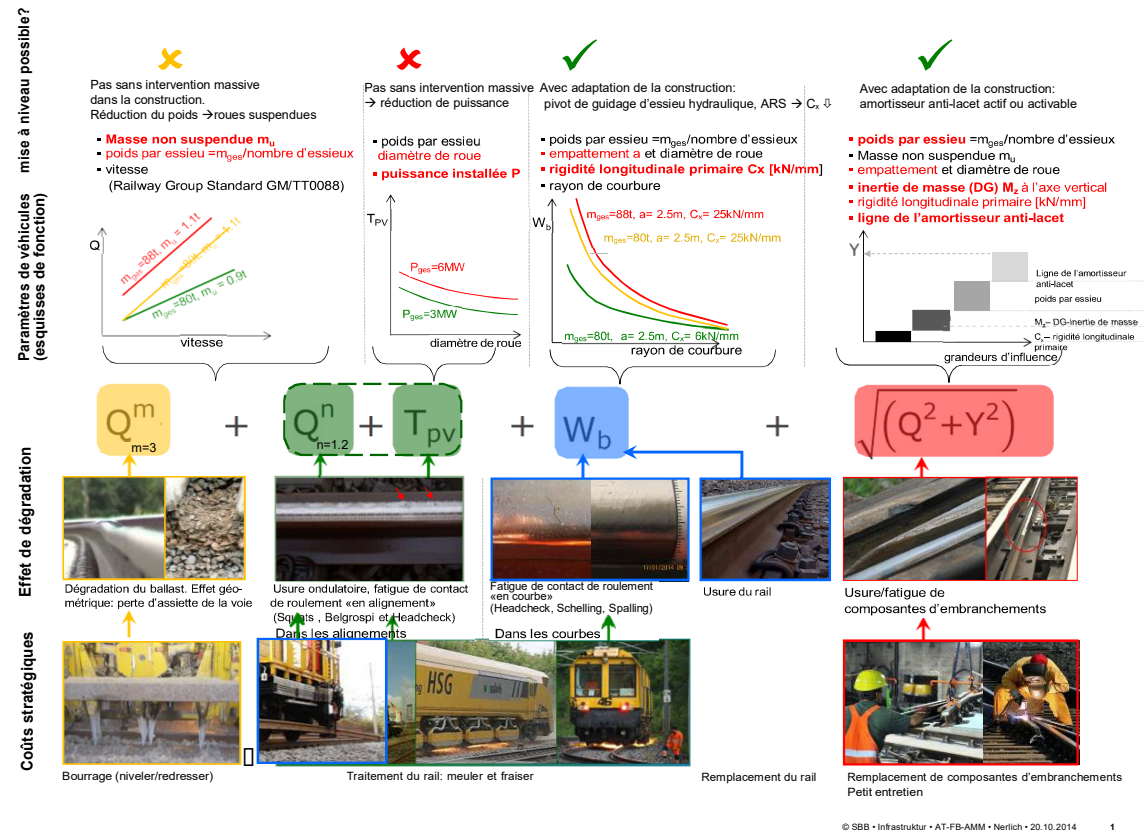


Figure 2-1: Attribution des phénomènes de dégradation aux travaux d'entretien de la voie

Les coûts d'entretien de la voie sont causés par des mesures d'entretien (bourage, traitement du rail, remplacement de rail et entretien des aiguilles) qui sont représentées dans le bas de la figure. Il s'agit de coûts stratégiques de réparation ou de prévention des dégâts. La somme de ces coûts équivaut aux dépenses totales d'entretien d'une section de voie. Elle varie selon que la section est située dans un alignement ou dans une courbe.

Les dégâts de la voie sont la cause des mesures d'entretien et sont représentés dans le milieu de la figure. Ces dégâts sont provoqués par les véhicules. Or chaque véhicule ne détériore pas la voie de la même manière. Les différentes caractéristiques des véhicules causent des interactions plus ou moins grandes avec la voie. On considère que les grandeurs suivantes ont des incidences sur la détérioration :

- Q : force dynamique d'appui des roues
- T_{pv} : valeur caractéristique de la traction (*traction power value*)
- W_b : énergie de frottement spécifique au contact roue-rail
- Q_{W185} : force verticale de la roue sur le rail au passage d'une aiguille
- Y_{W185} : force transversale de la roue sur le rail au passage d'une aiguille

Ces variables dépendent en partie de la vitesse et du rayon de courbure de la voie parcourue. Leur influence sur le dégât est formulée au moyen de lois de détérioration, qui sont précisées au ch. 6.3.

Pour établir un rapport entre les dégâts D_j et les coûts, on utilise des « facteurs de calibrage des coûts » k_j , qui dépendent partiellement du rayon de courbure.

Dans le SPS 2017, les sillons sont classés dans des catégories de rayon suivant leur rayon de courbure. Les sections de rayon de courbure > 1200 m sont des alignements. Elles sont classées en diverses catégories de vitesse. Dans l'ensemble, il en résulte 10 catégories (Tableau 2-1).

Le prix de base lié à l'usure, que doit payer chaque véhicule par km parcouru sur une de ces sections, se calcule à partir de la somme des dégâts multipliée par les facteurs de calibrage des coûts ($\sum_j k_j \cdot D_j$, avec $j=1, 2, 3, 4.1, 4.2, 5$).

L'OARF-OFT ([1], annexe 1a) décrit le principe de calcul avec la formule suivante :

$$C(V,R)_i = (k_1 \cdot F_{RQ} \cdot Q_f^3 + k_2 \cdot Q_f^{1.2} + \alpha \cdot k_3 \cdot T_{pv} + k_4 \cdot F_{RW} \cdot W_{bf} + k_5 \cdot \sqrt{f_{51} \cdot Q_{W185}^2 + f_{52} \cdot Y_{W185}^2}) \cdot S$$

Formule 2-1 : formule de calcul du prix de base lié à l'usure conformément à l'OARF-OFT [1]

$C(V,R)_i$ est le coût de l'usure par le véhicule i à la vitesse V dans le rayon de courbure R . Ces coûts déterminent le prix du véhicule dans les catégories de vitesse et de rayon (catégories V/R). Pour chaque véhicule, vu l'interdépendance du dégât par rapport à la vitesse et du rayon de courbure, il en résulte un prix différencié pour chaque catégorie, exprimé en CHF/km.

La signification du facteur d'échelle S est expliquée à l'alinéa ci-après. Les autres descriptions verbales des variables se trouvent dans l'OARF-OFT ([1], annexe 1a). Les formules mathématiques exactes de calcul sont définies et expliquées au chapitre 6.

2.1. Coûts de référence du véhicule et prix du véhicule au décompte

Pour déterminer les facteurs de calibrage des coûts k_j , on a décidé un montant fixe des coûts de référence. À partir de ces coûts de référence, pour le réseau à voie normale des CFF, on a calibré les coûts pour chaque terme de l'addition des dégâts sous forme de somme via les km du parc de véhicules, et calculé les facteurs de calibrage des coûts [6]. La Figure 2-2 montre dans la partie gauche les parts en % de chaque terme de l'addition des dégâts dans les coûts de référence.

La partie droite de la figure indique les coûts marginaux (coûts imputables fixés par ordonnance), qui constituent la somme des recettes du prix de base lié à l'usure. Les coûts de référence et les coûts marginaux sont mis en relation au moyen du facteur d'échelle S .

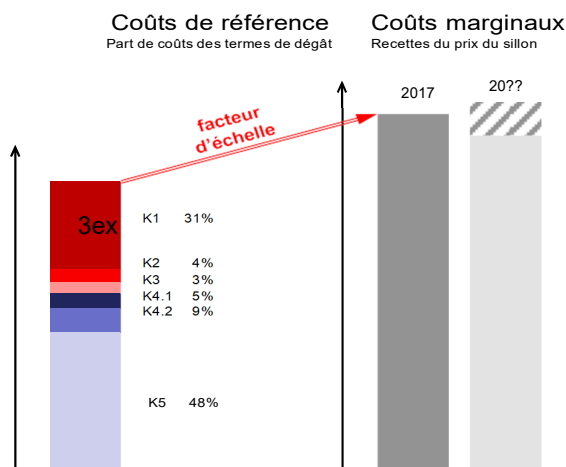


Figure 2-2 : facteur d'échelle pour la conversion de coûts de référence en coûts marginaux

À l'échelle d'un véhicule, il en résulte deux notions : les coûts de référence du véhicule et le prix du

véhicule (pour le décompte de couverture des coûts marginaux).

Les coûts de référence du véhicule $C_{relV/R}$ sont des valeurs fixes qui, une fois calculées, ne changent plus et qui forment la base de la comparabilité.

Les prix des véhicules $C_{V/R}$ sont les valeurs utilisées pour le décompte du prix du sillon. Ils se calculent à partir des coûts de référence du véhicule et du facteur d'échelle, qui peut varier en fonction des coûts marginaux fixés.

Le tableau suivant résume les abréviations et les notions utilisées dans le contexte des prix :

Catégorie de prix	Coûts de référence du véhicule	Prix du véhicule (= prix décompté)
$= S * C_{relV/R}$		
rayon > 1200 m		
$V \leq 80$	$C_{relV0-80}$	C_{V0-80}
$80 < V \leq 100$	$C_{relV80-100}$	$C_{V80-100}$
$100 < V \leq 120$	$C_{relV100-120}$	$C_{V100-120}$
$120 < V \leq 140$	$C_{relV120-140}$	$C_{V120-140}$
$140 < V \leq 160$	$C_{relV140-160}$	$C_{V140-160}$
$160 < V \leq 200$	$C_{relV>160}$	$C_{V>160}$
rayon $\leq$ 1200 m		
$R \leq 300$	$C_{relR<300}$	$C_{R<300}$
$300 < R \leq 400$	$C_{relR300-400}$	$C_{R300-400}$
$400 < R \leq 600$	$C_{relR400-600}$	$C_{R400-600}$
$600 < R \leq 1200$	$C_{relR600-1200}$	$C_{R600-1200}$

Tableau 2-1 : catégories de vitesse et de rayon pour la différenciation des prix et désignations des prix

3. Déroulement de la fixation du prix du véhicule

L'entrée d'un véhicule sur le réseau ferré suisse est liée à l'établissement d'une autorisation d'accès au réseau. Dans ce contexte, l'entreprise de transport ferroviaire (ETF) ou le détenteur de véhicule peut faire calculer le prix à l'attention de l'infrastructure, représentée par les CFF pour le réseau qu'ils gèrent par leur service de vente des sillons (OneStopShop).

3.1. Renonciation à la fixation du prix du véhicule

Il n'est pas obligatoire de déterminer les prix des véhicules spécifiques nécessaires au calcul du prix du sillon. S'il manque des indications de prix, on pratique un décompte au moyen de « prix par défaut ». Le prix du sillon à payer est alors en principe plus élevé que s'il est calculé avec des prix enregistrés de véhicules : il est fixé à la valeur maximale de groupes de véhicules de mêmes caractéristiques avec un supplément. Les prix par défaut en vigueur sont recalculés chaque année. Comme la fixation du prix d'un véhicule entraîne certains coûts, il peut être judicieux, suivant les circonstances, d'y renoncer.

Pour les véhicules historiques, l'ordonnance sur l'accès au réseau ferroviaire (OARF ; RS 742.122) art. 19a, al. 6, prévoit des dispositions spéciales selon l'art. 1, al. 4, let. c, OARF-OFT.

3.2. Déroulement chronologique

La Figure 3-1 représente le déroulement chronologique de la fixation du prix du véhicule dans le processus de fabrication et d'homologation du véhicule. Lorsqu'un nouveau véhicule arrive sur le réseau à voie normale de Suisse, l'homologation par l'autorité de surveillance est requise. Dès avant l'homologation définitive, il est possible de préparer le calcul du prix. Toutefois, le contrôle définitif et l'annonce contraignante du prix (feu vert pour le décompte) n'ont lieu en principe qu'après l'octroi de l'homologation. La fixation des prix et l'homologation sont donc des processus distincts.

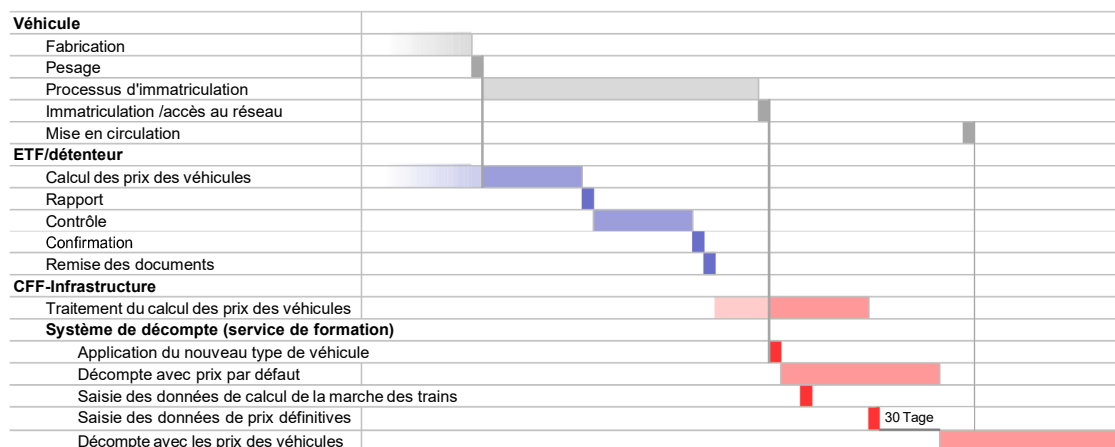


Figure 3-1 : déroulement chronologique réglementaire du calcul du prix d'un nouveau véhicule dans le réseau à voie normale de Suisse

Comme la masse du véhicule a une grande influence sur la fixation des prix, le calcul du prix présuppose une validation minimale des données de véhicule en étalonnant par pesage au moins un véhicule. Au moment du pesage, le véhicule se trouve dans un état standard, prêt pour l'exploitation (c'est-à-dire sans le lest remplaçant les aménagements intérieurs manquants etc.). Le calcul de masse est vérifié d'après les données de poids mesurées pour calculer le prix des véhicules par catégorie V/R (chapitre 6).

L'homologation donne lieu à l'ouverture d'un « type de véhicule » dans le service de formation qui met à disposition les données nécessaires au système de décompte. Le véhicule peut circuler librement, mais il est tarifé au prix par défaut. Si des tests du type sur plus de 15 000 km sont prévus dans le cadre de l'homologation d'un véhicule, il est possible d'adopter le cas échéant des réglementations bilatérales concernant le décompte avec CFF Infrastructure.

La remise des documents requis à CFF Infrastructure précède le traitement de la fixation du prix du véhicule (ch. 3.3.3). Après ce contrôle, le prix définitif des véhicules est intégré dans le système de

décompte. Au bout de 30 jours, les prix sont activés et le prix du sillon est recalculé avec le prix spécifique du véhicule. Il n'est pas prévu de remboursement de la différence entre le prix par défaut majoré et le prix effectif du véhicule.

3.3. Procédé de calcul du prix

La Figure 3-2 rend compte du processus de fixation des prix et des services qui y participent.

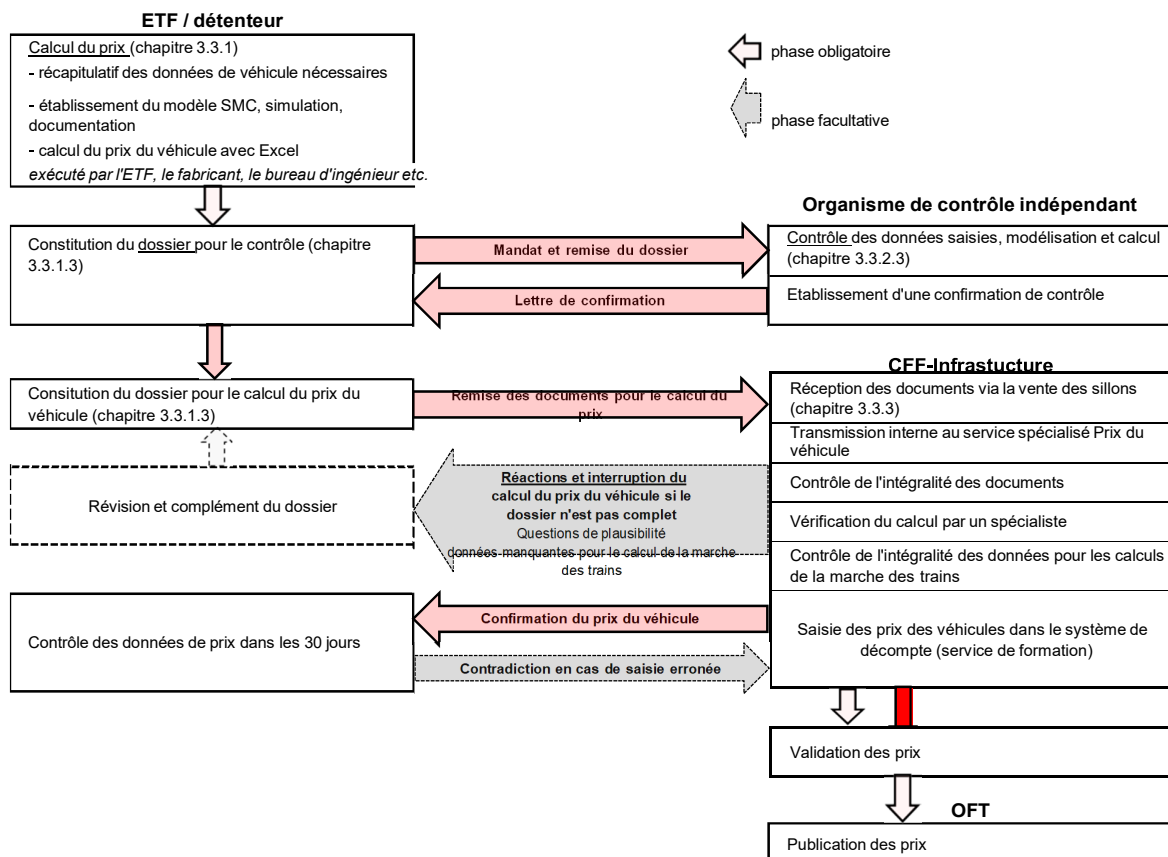


Figure 3-2 : déroulement du processus de fixation du prix

3.3.1. ETF/détenteur

C'est l'ETF ou le détenteur de véhicule qui engage le processus de calcul du prix des véhicules. À condition de posséder la qualification (cf. 3.3.1.1) et les données ad hoc, elle ou il peut l'exécuter en autonomie. Si ces conditions ne sont pas remplies, on peut attribuer un mandat externe de calcul. Le plus logique est que le fabricant d'un nouveau véhicule en soit chargé. Autrement, on peut s'adresser à un bureau d'ingénieur ou à une autre ETF qui puisse attester des qualifications requises.

Ensuite, le calcul est expertisé par un organisme de contrôle indépendant (ch. 3.3.2) qui établit l'attestation de contrôle.

Enfin, une demande de fixation du prix du véhicule assortie des documents requis (cf. 3.3.1.3) est adressée à CFF Infrastructure.

L'ETF, en remettant le dossier (données, dossier), garantit l'exactitude des données. Par l'ouverture de la procédure de calcul du prix, elle est responsable des calculs de l'organisme de contrôle chargé d'établir le prix ou de ceux de tiers. Le cas échéant, le fabricant est responsable.

3.3.1.1. Qualification du service de calcul

Le collaborateur responsable du calcul du prix des véhicules possède les qualifications suivantes :

- Diplôme d'une haute école d'ingénieur ou d'études en mathématiques/sciences naturelles
- Expérience dans le domaine de l'ingénierie des châssis et des homologations de véhicules > 5 ans
- Expérience essentielle avérée de la modélisation et du calcul de SMC > 5 ans

Une personne qui ne remplit pas toutes les conditions peut également effectuer le calcul à condition d'être encadrée par du personnel qualifié.

Pour prouver les qualifications, une brève présentation des collaborateurs qui participent au calcul doit être jointe aux documents.

3.3.1.2. Étendue des travaux

Le service calculateur collecte les paramètres de véhicule pertinents et les réunit dans un jeu de données paramétriques.

L'exécution du calcul est définie aux chapitres 6 à 8, où l'utilisation du calculateur de prix de véhicule est expliquée. Ces chapitres décrivent également comment exécuter les simulations multicorps.

Si le véhicule présente des similitudes de paramètres avec un véhicule pour lequel le prix des véhicules a déjà été déterminé, une comparaison de paramètres (cf. ch. 5.5) est autorisée. Si les valeurs admissibles prédéfinies sont respectées, on peut renoncer à un nouveau calcul de système multicorps (SMC).

Les documents nécessaires sont publiés sur www.onestopshop.ch [9].

3.3.1.3. Documents

Il faut constituer un dossier pour le contrôle du calcul et pour la demande de fixation du prix du véhicule. Le tableau suivant indique les documents à réunir.

Documents / données	Organisme de contrôle indépendant		CFF-I
	À remettre	À présenter	À remettre
Dessins de construction			
Schéma de type du véhicule (avec plan des sièges)	✓		✓
Dessins de châssis			
- vue générale	✓		✓
- échelon primaire, essieux			
- échelon secondaire			
- traction			
Dessins de caisse			
- joints de caisson	✓		✓
- articulations / tampons			
Dessins d'éléments de construction			
- éléments de suspension		✓	
- amortisseurs			
Résultats de mesure			
Procès-verbal de pesage	✓		✓
Calculs de paramètres			
Calcul en masse du véhicule		✓	
Calcul en masse du châssis		✓	
Calculs de rigidité		✓	
Calculs SMC			
Descriptif du modèle SMC ^{a)}	✓		✓
Jeu de données paramétriques modèle SMC ^{b)}	✓		✓
Compte-rendu de calcul SMC ^{a)}	✓		✓
Modèle SMC ^{c)}	(✓)	(✓)	
Récapitulatifs de résultats SMC ^{a)}	✓		✓
Calcul du prix des véhicules			
Calculateur de prix de véhicule rempli	✓		✓
Documents des organismes de contrôle			
Rapport de contrôle			✓
Compte-rendu de calcul de l'organisme de contrôle ^{d)}			✓
Remarques			
a) Définition du contenu au ch. 7.4			
b) Exemple dans l'annexe (ch. 12)			
c) Remise, consultation ou remodelisation en accord avec l'organisme de contrôle (cf. ch. 3.3.2.2)			
d) Si l'organisme de contrôle a son propre modèle SMC et a effectué le calcul.			

Tableau 3-1 : Liste des documents requis

La liste n'est pas exhaustive. Si l'organisme de contrôle ou le service spécialisé de CFF Infrastructure requiert d'autres données pour vérifier le calcul, il faut le cas échéant lui fournir d'autres documents.

3.3.2. Organisme de contrôle indépendant

Un service externe agréé par l'OFT contrôle l'exécution correcte des travaux.

3.3.2.1. Reconnaissance par l'OFT

Les organismes de contrôle indépendants sont reconnus conformément à l'annexe (chapitre 13).

3.3.2.2. Étendue du contrôle

La tâche principale de l'organisme de contrôle est de vérifier l'exactitude des paramètres de véhicule utilisés dans le calcul et dans la simulation SMC. Pour ce faire, il doit pouvoir consulter les dessins et les calculs à partir desquels les données d'entrée du calcul sont déduites. Les documents énumérés dans le tableau 3-1 devraient lui permettre de le faire.

Pour contrôler les valeurs calculées par simulation SMC, il faut vérifier le modèle et procéder à des simulations de contrôle. À cet effet, le plus simple est de soumettre le modèle SMC à l'organisme de contrôle.

Si le service calculateur ne souhaite pas transmettre le modèle pour des raisons de protection du savoir-faire, les calculs doivent être vérifiés avec le modèle conçu par l'organisme de contrôle. Le jeu de données paramétriques remis doit être structuré de manière qu'une telle remodelisation soit possible. Les calculs doivent alors être référencés comme indiqué au ch. 7.4.

Toute incohérence dans les résultats ou lors de la procédure de calcul doit être discutée avec le service calculateur. En cas de doute, on peut faire appel au service spécialisé Prix du véhicule de CFF Infrastructure dans la discussion (coordonnées au ch. 11.2).

3.3.2.3. Rapport de contrôle

L'organisme de contrôle décrit dans un rapport les contrôles et les calculs de contrôle exécutés. Il confirme le respect des prescriptions réglementaires de calcul et de fixation du prix du véhicule.

3.3.3. CFF Infrastructure

La soumission de la demande informelle de fixation du prix du véhicule et des documents requis à cet effet a lieu via le service de vente des sillons (coordonnées au ch. 11.1) qui transmet les documents au service spécialisé Prix du véhicule des CFF. Celui-ci vérifie à son tour si les documents sont complets et s'ils suffisent pour effectuer un test de plausibilité. En cas de contestation, il contacte le demandeur.

Au cours du processus, on vérifie également à l'interne si l'ETF a fourni toutes les données de matériel roulant nécessaires aux systèmes de conduite de l'exploitation de CFF-Infrastructure. Ces données sont requises pour les calculs de la marche des trains (CMT) dans les systèmes de conduite de l'exploitation et garantissent une disposition de l'exploitation sans accroc. Un complément d'informations ad hoc se trouve sur www.onestopshop.ch [10]. Si les données ne sont pas suffisantes, on peut interrompre le processus jusqu'à ce qu'elles soient fournies.

Si le contrôle ne donne lieu à aucune objection, les prix calculés sont ensuite enregistrés dans le système de gestion des prix. L'ETF ou le détenteur reçoit une confirmation de l'enregistrement pour vérification et peut, dans les 30 jours, faire opposition si un prix erroné a été inscrit dans le système ou si d'autres raisons s'opposent à une activation dans le système de décompte. Au bout de 30 jours, les prix sont activés. L'OFT reçoit le prix pour publication.

Le service spécialisé Prix du véhicule a la possibilité d'exiger, par l'intermédiaire de l'OFT, la publication des répartitions quantitatives actuelles de la flotte de types de véhicules au sein de l'EF ou du détenteur.

3.3.4. Commission des chemins de fer RailCom

En cas de désaccord ou de divergence de point de vue sur le prix de véhicules, le service spécialisé Prix du véhicule négocie dans un premier temps avec l'ETF/le détenteur, le service calculateur et le service de contrôle. Si le calcul du prix n'est pas accepté et si les parties ne peuvent parvenir à aucun accord, il faut soumettre une procédure de recours à la Commission des chemins de fer RailCom qui détermine la suite à donner.

4. Vue d'ensemble du procédé de calcul

Le schéma de la Figure 4-1 donne une vue d'ensemble du procédé de calcul

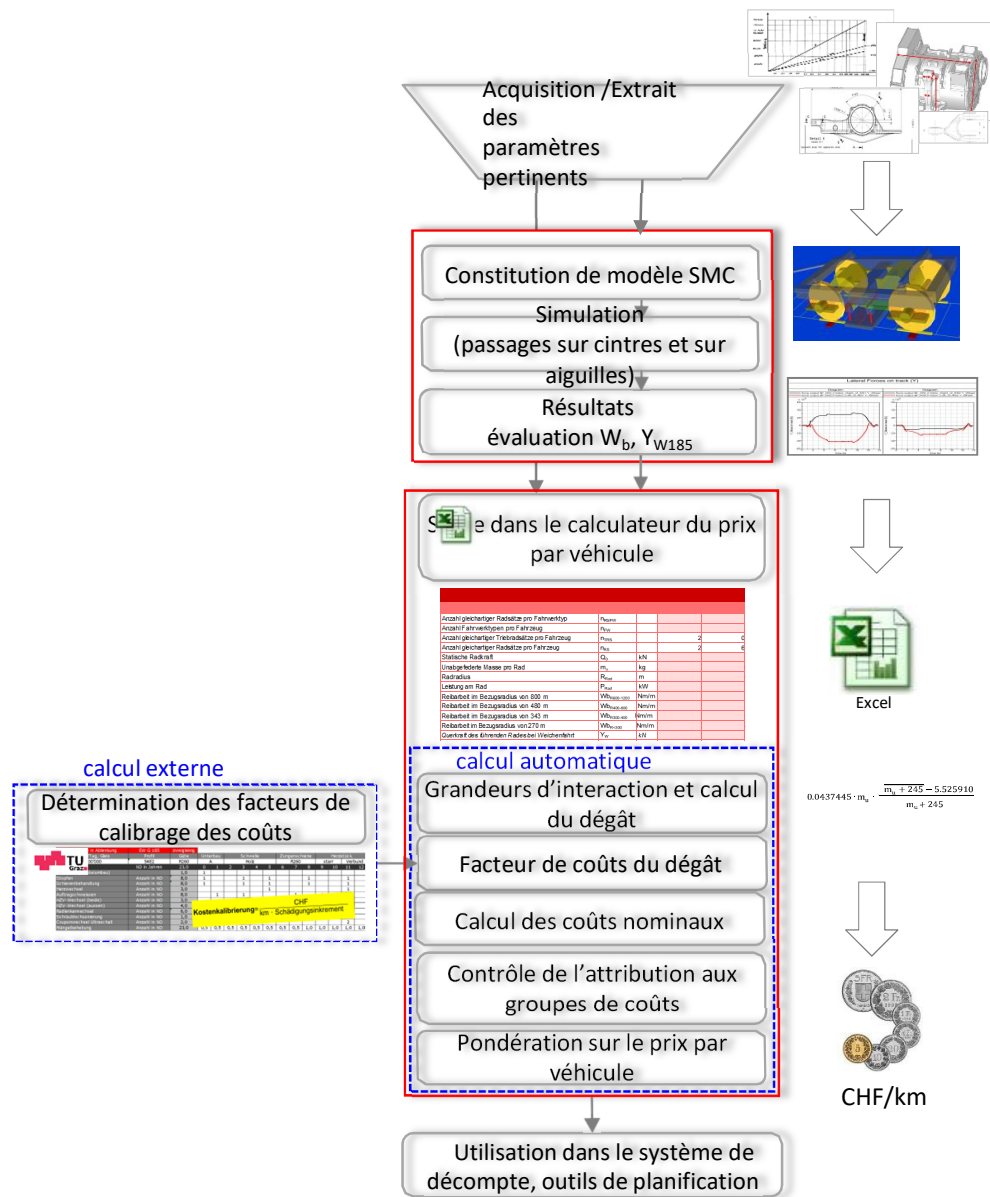


Figure 4-1 : vue d'ensemble du processus de calcul (des données de véhicule au prix)

Dans un premier temps, les paramètres pertinents pour le calcul sont déduits des données de véhicule (dessins, calculs en masse, caractéristiques etc.). Quelques données comme la force statique d'appui des roues, la masse non suspendue, le rayon de la roue et la prestation peuvent être intégrées directement dans le calculateur (Excel) de prix de véhicule (ch. 6.1), où les grandeurs d'interaction Q et la surface de contact efficace pour le calcul T_{pv} sont calculées de manière analytique (ch. 6.2).

Pour déterminer les grandeurs d'interaction W_b et Y_{W185} , des simulations dans un logiciel de calcul de systèmes multicorps (SMC) (par exemple SIMPACK) sont requis. Les données nécessaires sont également collectées et un modèle de véhicule correspondant est établi (chapitre 7). Les valeurs obtenues pour W_b et Y_{W185} sont aussi intégrées dans le calculateur de prix de véhicule.

Le calcul des coûts de référence du véhicule dans les catégories V/R se fait automatiquement. Les formules utilisées pour les lois de dégradation et le calcul des coûts sont décrites aux ch. 6.3 à 6.5.

Ensuite (chapitre 8) les coûts de référence du véhicule dans les catégories V/R sont vérifiés sur des « parentés de type » non différenciables (véhicules très semblables par leurs caractéristiques). Ce faisant, on analyse si, dans le cadre des marges d'incertitude potentielles des grandeurs saisies, les fourchettes de coûts présentent un écart suffisant par rapport aux coûts déjà déterminés d'autres véhicules. Si cette différenciation n'est pas donnée, on attribue au véhicule les coûts de référence déjà déterminés.

Enfin, on multiplie les coûts de référence du véhicule par le facteur d'échelle pour obtenir le prix déterminant à décompter par véhicule.

5. Principes techniques

Les grands principes sont expliqués dans les sections suivantes. Comme ils ne couvrent peut-être pas tous les cas particuliers envisageables, il est fait référence au service spécialisé Prix du véhicule (coordonnées au ch. 11.2), qui est à disposition pour répondre aux questions en cas de doute.

5.1. Catégorie de véhicules

Les véhicules sont classés en six catégories :

- Locomotives
- Automotrices (véhicule moteur d'un seul tenant avec transport de voyageurs)
- Voitures voyageurs
- Wagons
- Rames automotrices (véhicule moteur articulé avec transport de voyageurs)
- Véhicules spéciaux

Chaque véhicule est attribué de manière univoque à un type.

5.2. Charge

Pour déterminer la force d'appui des roues pertinente pour le calcul du prix, à l'exception des wagons on prend en compte les charges suivantes :

- Poids de service avec 2/3 de tous les carburants
- 1/3 taux d'occupation des places assises (le cas échéant) avec 80 kg par place assise (pour les voitures voyageurs avec équipement de première et deuxième classe, la deuxième classe est prise en compte, strapontins exclus).

Pour les wagons, en règle générale, 5 niveaux de charge sont définis, et le calcul du prix est différent pour chacun d'eux. Le Tableau 5-1 indique les gradations et les charges par essieu servant de base au calcul.

Niveau de charge	Charge par essieu
	[t]
#AL4_8	Wagon vide ¹
#AL8_12	10.0
#AL12_16	14.0
#AL16_20	18.0
#AL20_24	22.0

Tableau 5-1 : charges de référence des niveaux de charge de wagons

Pour les wagons dont on connaît les charges du fait de leur type de construction ou de leur champ d'application (par exemple les wagons du chargement des automobiles ou les Saadkms de la chaussée roulante), le prix est calculé pour les wagons vides et pour ces charges spécifiques.

5.3. Famille de véhicules

On entend par famille de véhicules la totalité des véhicules produite par un même fournisseur et issue d'une conception unifiée (voiture unifiée) ou du développement d'une plateforme. Les véhicules d'une famille se distinguent par un grand nombre de parties et/ou de composants identiques.

5.4. Type de véhicule

Les types de véhicule définissent un véhicule dans les systèmes opérationnels des infrastructures. Avant

¹ La charge par essieu peut varier en fonction du type de wagon (par ex. à deux ou à quatre essieux). C'est pourquoi la charge effective du wagon vide est prise pour base.

d'exécution une circulation de train, une ETF doit transmettre la formation (types de véhicule utilisés et leur ordre) au service de formation électronique. De plus, l'information, pertinente pour le prix du véhicule, sur les coûts du prix de base lié à l'usure est fonction du type de véhicule, il sert donc à la facturation du prix du sillon.

Un même type de véhicule réunit des véhicules individuels si ceux-ci appartiennent à la même famille de véhicules et si les éléments suivants sont identiques :

- Attribution à la catégorie de véhicule²,
- Nombre d'essieux,
- Catégorie de train,
- Catégorie de traction,
- Catégorie de frein.

Les catégories de traction sont :

- traction entièrement suspendue (à arbre creux)
- traction partiellement suspendue (entraînement chevauchant l'axe)
- traction non suspendue (moteur suspendu par le nez)

Les catégories de frein sont :

- roues à frein à sabot
- roues à frein à disque (disque de frein d'arbre ou de roue)

De plus, les paramètres de véhicules doivent se situer dans les valeurs admissibles pour leur famille de véhicules, ce que l'on vérifie par comparaison des paramètres obtenus (cf. ch. 5.4).

5.5. Comparaison de paramètres

Une comparaison de paramètres vise les objectifs suivants :

- prévention de lourdes tâches d'organisation pour déterminer le prix des véhicules lorsqu'un parc de véhicules présente des différences gérables ;
- réduction des tâches de simulation SMC : limitation de l'ampleur de la modélisation ou renonciation à une simulation si elle n'est pas absolument nécessaire.

Une comparaison de paramètres autorise à reprendre le prix déjà fixé de véhicules de même type s'il est prouvé que les marges de tolérance des paramètres d'entrée sont respectées. Ce faisant, la participation d'un organisme de contrôle indépendant n'est pas nécessaire.

Le prix de nouveaux véhicules individuels ne peut pas être déterminé par comparaison de paramètres.

Le procédé de comparaison transversale de la parenté de véhicule est conforme à la norme EN 14363 [2] lorsqu'il s'agit de décider si l'on peut renoncer à un essai sur tronçon. Pour l'interprétation de la marge d'écart du paramètre X, on applique la norme EN 14363 par analogie :

$$\Delta X_{\%} = \frac{X_{\text{nouveau}} - X_{\text{ancien}}}{X_{\text{ancien}}} \text{ pour l'écart relatif,}$$

$$\Delta X_{\text{abs}} = X_{\text{nouveau}} - X_{\text{ancien}} \text{ pour l'écart absolu.}$$

Le tableau suivant indique les limites des écarts autorisés. On distingue entre véhicule neuf d'une famille de véhicules et ancien véhicule après un refit.

Paramètres	Valeurs admissibles	
	Nouveau véhicule d'une famille	Véhicule refit
Entraxe des bogies 2a*	-20% à +10%	-
Empattement 2a+	-5% à +2.5%	-
Force d'appui des roues Q ₀	-10% à +5%	-10% à +5%

² Elle résulte de l'appartenance à une famille de véhicules. La catégorie de véhicule est réutilisée dans le système de décompte

Masse non suspendue m_u	-5% à +2.5%, max +50 kg par essieu	-10% à +5%, max +50 kg par essieu
Essieux (rigidité)	-10% à +0%	-10% à +5%
Amortissement anti-lacet (constante d'amortissement et force de <i>blow-off</i>)	-100% à +25%	-100% à +25%

Tableau 5-2 : vue d'ensemble des écarts de paramètres de véhicule autorisés pour la reprise d'une fixation du prix du véhicule

5.6. Type de châssis

Les châssis qui se différencient selon leurs paramètres et leurs charges par essieu ont un effet de détérioration différent. Comme un véhicule peut présenter divers types de châssis (par exemple bogie moteur et bogie porteur), le prix est calculé spécifiquement pour chaque type de châssis. Le dégât total résulte de la somme des dégâts de tous les types de châssis, le nombre d'essieux étant pris en compte.

Comme des châssis de même type peuvent présenter des différences de paramètres descriptifs au sein d'un même véhicule, des valeurs admissibles sont définies. Si elles sont respectées, les châssis qui ne diffèrent entre eux que par des détails peuvent être considérés comme un type de châssis. Cela permet de maintenir la modélisation dans des limites raisonnables.

Le Tableau 5-3 indique les écarts autorisés entre les paramètres des châssis de même type.

Pour tous les châssis d'un véhicule qui doivent être réunis sous un type de châssis, on fait la moyenne du paramètre concerné. Les valeurs isolées du châssis étudié doivent se trouver à l'intérieur des limites autorisées. Si elles n'y sont pas, les valeurs aberrantes sont traitées comme un autre type de châssis calculé à part.

Paramètre	Écart autorisé par rapport à la valeur moyenne
Entraxe des bogies 2a*	-20% à +10%
Empattement 2a+	-5% à +2.5%
Force d'appui des roues Q_0	-10% à +5%
Masse non suspendue m_u	-10% à +5%, max. +50 kg par essieu
Essieux (rigidité) c_x	-10% à +5%
Amortissement anti-lacet (constante d'amortissement et force de <i>blow-off</i>)	-100% à +25%

Tableau 5-3 : vue d'ensemble des écarts autorisés de paramètres au sein d'un type de châssis

La Figure 5-1 rend compte de l'exemple d'un véhicule dont les 6 châssis sont de même type, mais se différencient par exemple par la force d'appui des roues. Après calcul de la valeur moyenne, on s'aperçoit que les châssis 3 et 4 dépassent de la marge de tolérance. Ils sont donc classés dans deux types différents. La valeur moyenne des valeurs isolées constitue le paramètre déterminant. Les écarts au sein du type de châssis respectent alors les valeurs admissibles.

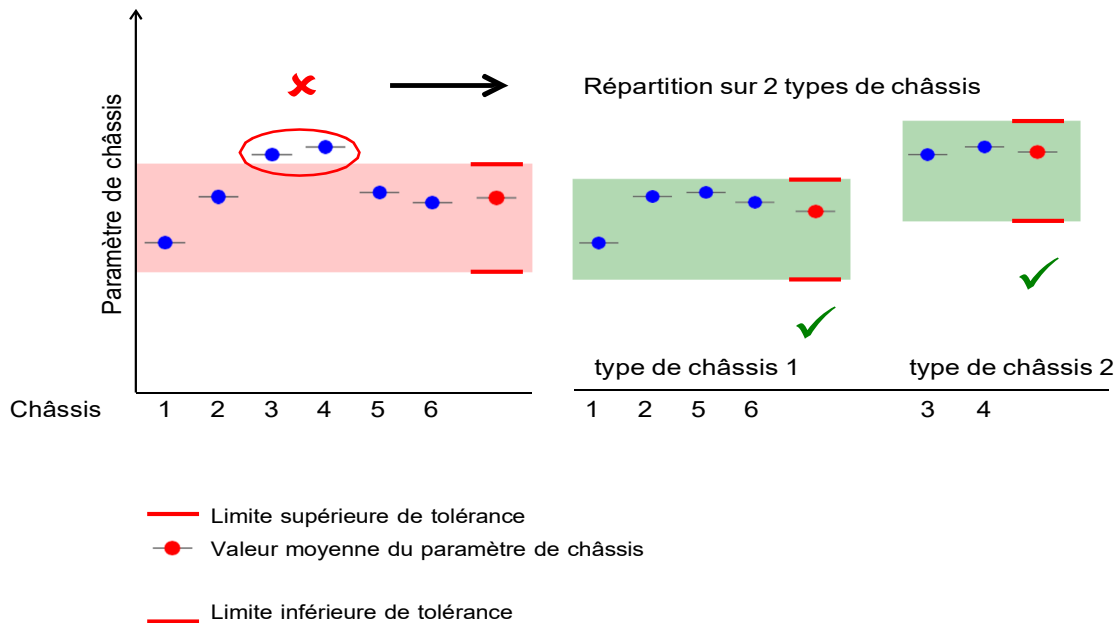


Figure 5-1 : limites de la similarité entre châssis de même type

5.7. Cadre de châssis

On entend par cadre de châssis ce qui relie les essieux entre eux et avec la caisse. Le cadre de châssis d'un véhicule à deux essieux est la caisse.

5.8. Essieu pertinent pour le dégât

Pour simplifier, on admet que la roue extérieure d'un châssis dans la courbe de chaque essieu avantest à l'origine du dégât, même si la majoration de l'accélération libre centrifuge provoque des reports de forces dans le châssis.

S'il s'agit du même type de châssis, on reporte pour simplifier le comportement du premier essieu avant sur tous les essieux avant suivants et on prend en compte l'effet global en multipliant par leur nombre (n_{FW}) dans le véhicule. Sur un véhicule avec deux bogies du même type, le comportement du premier essieu vaut aussi pour l'essieu avant du deuxième bogie (essieu 3 pour un bogie à deux essieux, essieu 4 pour un bogie à 3 essieux, cf. Figure 5-2).

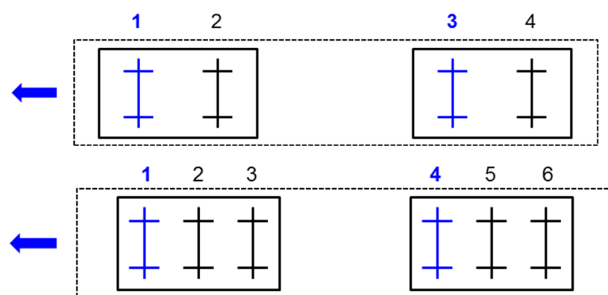


Figure 5-2 : essieux équivalents d'un véhicule à deux bogies

Les châssis de même type ne doivent pas être l'un derrière l'autre dans le véhicule. Dans l'exemple d'un véhicule à bogies Jacob de la Figure 5-3, les essieux 1 et 7 sont équivalents – à condition que le type de châssis soit le même. On procède de la même manière pour le bogie Jacob. Dans l'exemple, les essieux 3 et 5 sont équivalents.

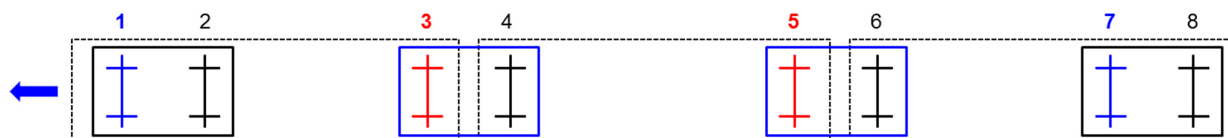


Figure 5-3 : essieux équivalents d'un véhicule à bogies Jacob

Si les rails du châssis sont à plusieurs essieux, articulés ou rigides, on considère que les essieux extérieurs sont à l'origine du dégât. Dans l'exemple du Saadkms (CR), les essieux 1 et 5 sont équivalents.

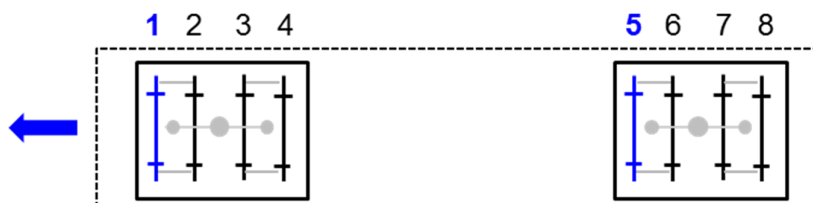


Figure 5-4 : essieux équivalents d'un wagon CR

Il peut y avoir des incertitudes relatives à l'ordonnancement des essieux de construction spéciale. Il faut alors décider, à l'aide des résultats de la simulation SMC, quels essieux peuvent être considérés comme des essieux avant. Un véhicule avec essieu Jacob est un exemple d'un tel cas.

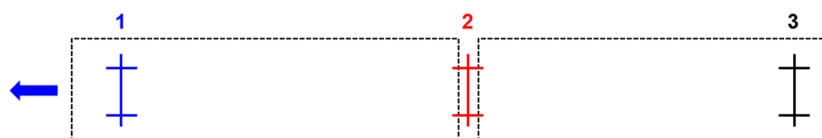


Figure 5-5 : véhicule avec essieu isolé et essieu Jacob

6. Calcul du prix des véhicules

Un calculateur du prix des véhicules (Excel) est disponible sur www.onestopshop.ch [9]. Le calcul est expliqué en détail aux sections suivantes.

6.1. Grandeurs saisies

Les grandeurs saisies nécessaires au calcul du prix des véhicules dans les catégories V/R se trouvent dans le haut du tableau. Les cellules de saisies sont roses. Il faut saisir les caractéristiques de masse, de géométrie et de traction des véhicules ainsi que celles de leur comportement dans les courbes et sur les aiguilles obtenues par simulation SMC (cf. chapitre 7). De plus, la vitesse maximale autorisée et la vitesse maximale du passage sur une aiguille de déviation à 40 km/h sont indiquées. La catégorie de véhicule et la catégorie de train pour laquelle le prix doit être calculé sont sélectionnées dans une liste. Pour les véhicules qui circulent en plusieurs séries, le prix est calculé pour chaque série.

La colonne « véhicule » contient les sommes de quelques variables. On peut ainsi vérifier si tous les châssis et essieux ont été pris en compte et si la masse totale et la prestation du véhicule sont correctes.

La figure suivante présente dans les données d'un train automoteur avec deux châssis différents :

RABe 5xx 4/8				Motor Bogie	Trailer Bogie			Véhicule
Description	Signe de formule	Unité	Remarque ou formule de calcul	Saisie ou calcul				
Données du véhicule (grandeurs de saisie)								
Données de base								
Catégorie de véhicule			wagon (GWg), train automoteur (TZ), véhicule de secours spécial (S)					TZ
Vitesse maximale autorisée	V _{zul}	km/h		140	140	140	140	140
Catégorie de train				R	R	R	R	R
Vitesse autorisée sur les branchements à 40 km/h	V _{Wzul}	km/h	40 km/h, s'il n'y a pas de limitation	40	40	40	40	40
Données des châssis				nominal				
				total				
Nombre d'essieux de même type par type de châssis	n _{RS/FW}			2	2			
Nombre de châssis par type par véhicule	n _{VW}			2	2			4
Nombre d'essieux moteurs de même type par véhicule	n _{RS}			4	0	0	0	4
Nombre d'essieux de même type par véhicule	n _{RS}			4	4	0	0	8
Force statique d'appui des roues	Q ₀	kN		75.00	50.00			101.94 t
Masse non suspendue par roue	m _u	kg		800.00	500.00			
Rayon de la roue (valeur nominale pour les roues neuves)	R _{Rad}	m		0.450	0.400			
Prestation maximale à la roue	P _{Rad}	kW		150				1200
Frottement dans un rayon de référence de 270 m	W _{b, R-300}	Nm/m	par simulation SMC	230.00	150.00			
Frottement dans un rayon de référence de 343 m	W _{b, R300-400}	Nm/m	par simulation SMC	170.00	100.00			
Frottement dans un rayon de référence de 480 m	W _{b, R400-600}	Nm/m	par simulation SMC	100.00	60.00			
Frottement dans un rayon de référence de 800 m	W _{b, R600-1200}	Nm/m	par simulation SMC	50.00	25.00			
Force transversale de la roue avant au passage d'une aiguille	Y _{W185}	kN	par simulation SMC	50.00	20.00			

Figure 6-1 : grandeurs saisies pour le calcul du prix des véhicules

Dans un autre champ de saisie, les marges d'incertitude des données de véhicule qui entrent dans le calcul et la simulation SMC sont indiquées. Ces marges sont nécessaires au calcul des barèmes de prix utilisées pour une éventuelle attribution à un groupe de prix préexistant. Cette section est expliquée plus en détail au chapitre 8.

6.2. Calcul des grandeurs d'interaction

Dans la phase suivante, les grandeurs intermédiaires qui influencent le dégât de la voie sont calculées à partir des grandeurs saisies.

6.2.1. Force dynamique des roues Q(V)

La force dynamique des roues dépend de la vitesse V, selon l'équation suivante :

$$Q(V) = a_Q \cdot V + b_Q, \text{ avec } V [\text{kmh}^{-1}]$$

Pour déterminer les coefficients a_Q et b_Q , on applique le Railway Group Standard GM/TT0088 [3] comme point de départ, Q étant équivalent à la force P_2 du standard. Toutes les constantes (A_z , M_z , C_z , K_z) sont appliquées conformément à GM/TT0088 :

The P_2 force shall be calculated using the following formula:

$$P_2 = Q + (A_z \cdot V_m \cdot M \cdot C \cdot K)$$

where

$$M = \left[\frac{M_v}{M_v + M_z} \right]^{0.5}$$

$$C = 1 - \left[\frac{\pi \cdot C_z}{4[K_z(M_v + M_z)]^{0.5}} \right]$$

$$K = (K_z \cdot M_v)^{0.5}$$

Q = maximum static wheel load (N)

V_m = maximum normal operating speed (m/s)

M_v = effective vertical unsprung mass per wheel (kg)

A_z = 0.020 rad
(total angle of vertical ramp discontinuity)

M_z = 245 kg
(effective vertical rail mass per wheel)

C_z = 55.4×10^3 Ns/m
(effective vertical rail damping rate per wheel)

K_z = 62.0×10^6 N/m
(effective vertical rail stiffness per wheel)

Formule 6-1 : prescription de calcul pour P_2 conformément à GM/TT0088 [3]

Les équations et constantes utilisées dans le GM/TT0088 peuvent être réunies en une formule où interviennent la masse non suspendue par roue m_u et la force statique des roues Q_0 .

On obtient les coefficients pour la description de la force dynamique des roues en fonction de la vitesse $Q(V)$.

$$Q(V) = Q_0 + V \cdot 0.0437445 \cdot \frac{m_u + 245 - 5.525910}{m_u + 245} \text{ in kN}$$

Les coefficients a_Q et b_Q pour la formule

$$Q(V) = a_Q \cdot V + b_Q, \text{ avec } V [\text{kmh}^{-1}]$$

sont :

$$a_Q = 0.0437445 \cdot m_u \cdot \frac{m_u + 245 - 5.525910}{m_u + 245}, \text{ avec } m_u [\text{kg}]$$

$$b_Q = Q_0, \text{ avec } Q_0 [\text{kN}]$$

Formule 6-2 : calcul des coefficients pour la force dynamique des roues $Q(V)$

6.2.1.1. Vitesses de référence dans les alignements

Six catégories de vitesse sont utilisées dans le calcul du prix pour les sections avec rayons de courbure >1200 m. La vitesse de référence pour chaque catégorie est définie dans le tableau suivant :

catégorie de vitesse	vitesse de référence
[km/h]	[km/h]
$V \leq 80$	75
$80 < V \leq 100$	90
$100 < V \leq 120$	110
$120 < V \leq 140$	130
$140 < V \leq 160$	150
$160 < V \leq 200$	200

Tableau 6-1 : vitesses de référence des catégories de vitesse ($R > 1200$ m)

6.2.1.2. Vitesses de référence dans les courbes

Des catégories de rayon sont définies pour les sections dont le rayon de courbure est ≤ 1200 m. Les rayons de référence pour les diverses catégories de rayon sont calculés à partir de la courbure moyenne de ces catégories. Les vitesses de référence pour le calcul de la force dynamique des roues dépendent de la catégorie de train pour laquelle le prix des véhicules doit être calculé. Elles sont calculées automatiquement dans le tableau Excel pour un dévers de 150 mm et indiquées dans le tableau suivant avec les accélérations transversales non neutralisées ou les insuffisances de dévers :

Catégorie de rayon	Rayon de référence	Vitesse de référence		
		catégorie R, A, D at 0.85 m/s^2 (id 130 mm)	catégorie W at 1.32 m/s^2 (id 200 mm)	catégorie N at 1.80 m/s^2 (id 275 mm)
[m]	[m]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
$R \leq 300$	270	80.04	89.73	98.65
$300 < R \leq 400$	343	90.22	101.14	111.19
$400 < R \leq 600$	480	106.73	119.64	131.53
$600 < R \leq 1200$	800	137.78	154.46	169.80

Tableau 6-2 : vitesses de référence pour diverses catégories de rayon et catégories de train

Le tableau Excel calcule la force dynamique des roues en courbe maximale avec la vitesse maximale autorisée (V_{zul}) du véhicule. C'est-à-dire pour un véhicule avec $V_{zul} = 120 \text{ km/h}$, la vitesse de référence dans la catégorie de rayon $600 < R \leq 1200$ est de 120 km/h au lieu de 137.63 km/h.

6.2.2. Surface de contact

Pour évaluer l'influence de la traction, on calcule la surface de contact efficace sous les roues entraînées. Le calcul se fonde sur la théorie générale simple du contact de Hertz, telle qu'elle est décrite dans le Dubbel [4] (ouvrage de référence de construction mécanique en allemand). Mais il est affaibli d'un facteur de 2/3 pour rendre les incertitudes systémiques (comme par exemple le perfectionnement de la densité de puissance et la validité du résultat dans les courbes de grand rayon).

Pour le calcul analytique de la surface de contact, le véhicule est considéré comme immobile dans la voie en ligne droite (rayon du champignon du rail = 300 mm). On peut ainsi, sans calcul spécial, calculer les pénétrations élastiques pour les contacts non-elliptiques et recourir par simplification à une équation découpée suffisamment exacte :

La surface de contact elliptique se calcule à partir de la taille des deux demi-essieux a et b :

$$A_{\text{roue}} = \pi \cdot a \cdot b$$

Les rayons de courbure principaux du rail sont R_{rail} et ∞ , ceux de la roue sont R_{roue} et ∞ .

Il en résulte la formule suivante pour le calcul de la surface :

$$A_{\text{roue}} = \pi \cdot \xi \cdot \eta \cdot \left(\frac{3 \cdot Q_0}{E^* \left(\frac{1}{R_{\text{rail}}} + \frac{1}{R_{\text{roue}}} \right)} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ avec } E^* = \frac{E}{(1 - \nu^2)}$$

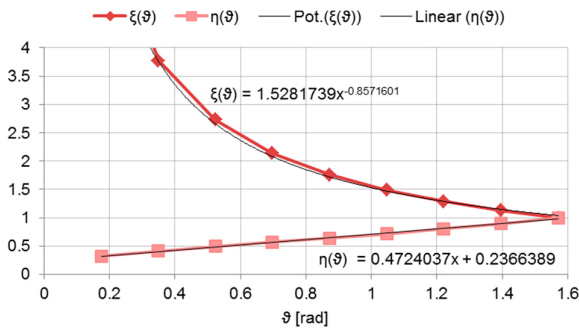
L'angle auxiliaire ϑ pour le calcul des coefficients ξ et η avec les rayons de courbure principaux correspondants résulte en :

$$\vartheta = \arccos \left(\frac{|R_{\text{roue}} - R_{\text{rail}}|}{R_{\text{roue}} + R_{\text{rail}}} \right) -$$

Par approximation, les valeurs des tableaux pour ξ et η peuvent être décrites par des fonctions :

$$\xi(\vartheta) = 1.5281739 \cdot \vartheta^{0.8571601}$$

$$\eta(\vartheta) = 0.4724037 \cdot \vartheta + 0.2366389$$



Avec l'utilisation des valeurs suivantes

$$R_{\text{rail}} = 0.3 \text{ m}$$

$$E = 2.1 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\nu = 0.3$$

et après l'emploi des fonctions, on obtient une formule de calcul de la surface de contact. Cette formule est encore multipliée par le facteur 2/3 à utiliser pour le calcul T_{pv} . La saisie de Q_0 a lieu en kN, celle de R_{rad} en m. On obtient la surface $A_{\text{roue,eff}}$ en mm^2 .

$$A_{\text{roue,eff}} = \frac{8.3593707 \cdot \vartheta + 4.1874191}{\vartheta^{0.8571601}} \cdot \left(\frac{Q_0}{0.3 + R_{\text{roue}}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{avec } \vartheta = \arccos \left(\frac{|R_{\text{roue}} - 0.3|}{R_{\text{roue}} + 0.3} \right), Q_0 [\text{kN}], R_{\text{roue}} [\text{m}], A_{\text{roue,eff}} [\text{mm}^2]$$

Formule 6-3 : calcul analytique de la surface de contact réduite

6.3. Calcul des coefficients de dégât

Dans la phase suivante, on applique les diverses lois de dégradation aux grandeurs d'interaction afin de calculer les coefficients de dégât D1 à D5.

6.3.1. Dégât du ballast/perte d'assiette de la voie D1= {Q³}

Le rapport D1 ~ Q³ est considéré internationalement [6] comme correct pour exprimer le lien entre force dynamique verticale des roues Q(V) et dégât du ballast/ perte d'assiette de la voie. La notation par coefficients permet de calculer la grandeur d'interaction et par conséquent le dégât pour chaque vitesse et chaque rayon. Le dégât total potentiel résulte de la multiplication par le nombre d'essieux de même type.

Pour D1, chaque essieu implique un dégât potentiel.

La formule pour D1 est donc :

$$D1 = n_{RS} \cdot Q(V)^3$$

Formule 6-4 : loi de dégradation D1 (Dégât du ballast et perte d'assiette de la voie)

6.3.2. Défaut de rail de la de la voie en alignement D2= {Q^{1.2}}

Le rapport D2 ~ Q^{1.2} est considéré internationalement [6] comme une valeur obtenue empiriquement utilisable pour pour exprimer le lien entre force dynamique verticale des roues Q(V) et occurrences de fatigue de contact de roulement. D2 peut se calculer comme D1. Le dégât total potentiel résulte de la multiplication par le nombre d'essieux de même type.

Pour D2, chaque essieu implique un dégât potentiel.

La formule pour D2 est donc :

$$D2 = n_{RS} \cdot Q(V)^{1.2}$$

Formule 6-5 : loi de dégradation D2 (défaut de rail de la voie en alignement)

6.3.3. Défaut de rail de la voie en alignement dû à la traction D3= {T_{pv}}

La valeur caractéristique de la traction ou *traction power value* (T_{pv}) est considérée empiriquement comme un indicateur de la fatigue de contact de roulement due à la traction [6] sous la roue entraînée. La densité de puissance, qui est transmise par la surface d'appui (somme des surfaces de contact des roues entraînées) avec la puissance maximale installée du véhicule, est la valeur principale. Il n'est pas tenu compte de tractions effectives ni de valeurs assimilées. Le dégât total potentiel d'une roue et d'un véhicule reste le même, on peut donc renoncer à la multiplication par le nombre d'essieux impliquant un dégât potentiel.

La formule pour D3 est la suivante :

$$D3 = \alpha \cdot T_{pv} = \alpha \cdot \frac{P_{roue}}{A_{roue,eff}}$$

Le coefficient d'érosion α prend la valeur 1 jusqu'à nouvel ordre. Lors d'une précision ultérieure, il permettra de prendre en compte de l'exploitation de la puissance, lorsque par exemple le même véhicule circule en régime IR ou RER. Pour le calcul actuel de D3 la formule est donc la suivante :

$$D3 = T_{pv} = \frac{P_{roue}}{A_{roue,eff}}, \text{ avec } P_{roue} [\text{kW}], A_{roue,eff} [\text{mm}^2]$$

Formule 6-6 : loi de dégradation D3 (défaut de rail de la voie en alignement dû à la traction)

6.3.4. Défaut de rail et usure du rail dans les arcs D4.1, D4.2 = {W_b}

L'énergie de frottement du contact roue/rail est considérée empiriquement comme un mécanisme déclencheur vérifié de la fatigue de contact de roulement D4.1 (*HeadChecking*) ou de l'usure D4.2 dans les courbes [6], [6]. Ce faisant, l'énergie de frottement spécifique obtenue par simulations SMC (cf. chapitre 7) est séparée entre usure, fatigue de contact de roulement ou formes mixtes au moyen d'une fonction évaluatrice.

Le dégât total potentiel résulte de la multiplication par le nombre de tous les essieux avant d'un cadre de châssis commun, car eux seuls impliquent un dégât potentiel.

Les formules pour D4.1 et D4.2 sont les suivantes :

D4.1 = 0 ,	<i>pour</i> $W_b < 15 \text{ Nm/m}$ et $W_b \geq 175 \text{ Nm/m}$	
D4.1 = n_{FW} · (0.02 · W_b - 0.3)	<i>pour</i> $15 \text{ Nm/m} \leq W_b < 65 \text{ Nm/m}$	
D4.1 = n_{FW} · (-W_b + 175)/110	<i>pour</i> $65 \text{ Nm/m} \leq W_b < 175 \text{ Nm/m}$	

Formule 6-7 : loi de dégradation D4.1 (fatigue de contact de roulement dans les courbes)

D4.2 = 0 ,	<i>pour</i> $W_b < 65 \text{ Nm/m}$	
D4.2 = n_{FW} · $\frac{W_b - 65}{110}$	<i>pour</i> $W_b \geq 65 \text{ Nm/m}$	

Formule 6-8 : loi de dégradation D4.2 (usure dans les courbes)

6.3.5. Dégradation des aiguilles due aux forces verticales et horizontales D5 = $\{Q_{W185}^2 + Y_{W185}^2\}^{0.5}$

Les sollicitations combinées des aiguilles, résultant des forces horizontales (Y) et verticales (Q) [6], constituent l'indicateur des charges des éléments d'aiguillage.

La force transversale Y_{W185} de la roue avant extérieure à la courbe s'obtient par simulation SMC d'un trajet sur une courbe en S de 185 m (cf. chapitre 7).

La force verticale Q_{W185} pour la vitesse maximale autorisée V_{Wzul} au passage d'une aiguille de déviation à 40 km/h (en règle générale 40 km/h) est déterminée à partir des coefficients de la grandeur d'interaction Q ($Q_{W185} = Q(V_{Wzul})$).

Le dégât total potentiel résulte de la multiplication de D5 par le nombre de tous les essieux avant d'un cadre de châssis commun qui impliquent un dégât potentiel.

La formule pour D5 est la suivante :

$$D5 = n_{FW} \cdot \sqrt{f5_1 \cdot Q(V_{Wzul})^2 + f5_2 \cdot Y_{W185}^2}$$

Les facteurs $f5_1, f5_2$ permettent une pondération différenciée des dégâts ; ils sont fixés actuellement à 0,5.

$$D5 = n_{FW} \cdot \sqrt{0.5 \cdot Q(V_{Wzul})^2 + 0.5 \cdot Y_{W185}^2}$$

Formule 6-9 : loi de dégradation D5 (dégât aux aiguilles)

6.3.6. Potentiel de dégât du véhicule total

Les coefficients de dégât D1 à D5 sont calculés pour chaque type de châssis du véhicule. Le potentiel total de dégât pour les diverses catégories de vitesse et de rayon résulte, sur l'ensemble du véhicule (à l'exception de D3) de la somme des coefficients de dégât de tous les types de châssis (colonne O dans le calculateur Excel).

$$D_{jR-cat.,total}^v = \sum_k D_{jR-cat.,k}^v, \text{ avec } j : 1, 2, 4.1, 4.2, 5, k : \text{indice du type de châssis}$$

Formule 6-10 : calcul du dégât total (D1,D2, D4.1, D4.2, D5) par catégorie

Si le véhicule possède différents entraînements de châssis et s'il en résulte plusieurs valeurs pour D3 (T_{pv}), le calcul de la valeur totale se fait par une moyenne qui prend en compte le nombre d'essieux moteurs n_{TRS} .

$$T_{pv,total} = \frac{\sum_k (n_{TRSk} T_{pv,k})}{\sum n_{TRSk}}, \text{ avec } k : \text{indice du type de châssis}$$

Formule 6-11 : calcul de la valeur totale pour T_{pv} (= D3)

6.4. Facteurs de calibrage des coûts

Des travaux de maintenance et leurs coûts de travail et de réparation sont attribués à chaque type de dégât (D1 à D5) (cf. chapitre 2, Figure 2-1). Il s'agit de coûts stratégiques de réparation ou de prévention de dégâts. Il est renvoyé à [6] pour le recensement des facteurs de calibrage des coûts (k_1 à k_5). Les facteurs de calibrage des coûts (colonne AE dans le calculateur Excel du prix de véhicule) sont récapitulés dans le tableau suivant :

Catégorie	Facteurs de calibrage des coûts					
	k1	k2	k3	k4.1	k4.2	k5
Alignement	0.000000000883	0.000002818560	0.003379926726	0	0	0.000234518869
R<300	0.000000010785	0	0	0.081359599719	0.058656594313	0.000234518869
R300-400	0.000000002667	0	0	0.010953481857	0.023825333808	0.000234518869
R400-600	0.000000001556	0	0	0.010953481857	0.023825333808	0.000234518869
R600-1200	0.000000000949	0	0	0.010953481857	0	0.000234518869

Tableau 6-3 : vue d'ensemble des facteurs de calibrage des coûts

6.5. Calcul du prix des véhicules

Pour le calcul des coûts de référence du véhicule, on multiplie le dégât total D1 à D5 par les facteurs de calibrage des coûts k1 à k5 (colonne AC dans le calculateur Excel) puis on additionne les résultats pour chaque catégorie (cf. Figure 6-2).

Aucun prix n'est calculé pour les catégories de vitesse en alignement supérieures à la vitesse autorisée du véhicule.

Ensuite, on multiplie les coûts de référence du véhicule par le facteur d'échelle (cf. ch. 2.1). Le résultat est le prix des véhicules déterminant pour le décompte du prix du sillon.

Calcul des coûts de référence du véhicule							
		termes de l'addition					nominal
T_{pv}	C_{relTpv}	CHF/km		k.D3			0.0074883
V0-80	$C_{relV0-80}$	CHF/km	k.D1 _{V0-80}	k.D2 _{V0-80}	k.D3		0.0943495
V80-100	$C_{relV80-100}$	CHF/km	k.D1 _{V80-100}	k.D2 _{V80-100}		k.D5	0.0994179
V100-120	$C_{relV100-120}$	CHF/km	k.D1 _{V100-120}	k.D2 _{V100-120}	k.D3		0.1074675
V120-140	$C_{relV120-140}$	CHF/km	k.D1 _{V120-140}	k.D2 _{V120-140}	k.D3	k.D5	0.1171442
V140-160	$C_{relV140-160}$	CHF/km	k.D1 _{V140-160}	k.D2 _{V140-160}	k.D3	k.D5	
V>160	$C_{relV>160}$	CHF/km	k.D1 _{V>200}	k.D2 _{V>200}	k.D3	k.D5	
R<300	$C_{relR<300}$	CHF/km	k.D1 _{R<300}		k.D4.1 _{R<300}	k.D4.2 _{R<300}	0.5511231
R300-400	$C_{relR300-400}$	CHF/km	k.D1 _{R300-400}		k.D4.1 _{R300-400}	k.D4.2 _{R300-400}	0.1966341
R400-600	$C_{relR400-600}$	CHF/km	k.D1 _{R400-600}		k.D4.1 _{R400-600}	k.D4.2 _{R400-600}	0.1573680
R600-1200	$C_{relR600-1200}$	CHF/km	k.D1 _{R600-1200}		k.D4.1 _{R600-1200}	k.D5	0.1257581

Conversion en prix des véhicules			
Facteur d'échelle	S		2.35

Calcul des prix des véhicules				
		CHF/km		nominal
T_{pv}	C_{Tpv}	CHF/km	$C_{relTpv} * S$	0.0175975
V0-80	C_{V0-80}	CHF/km	$C_{relV0-80} * S$	0.2217213
V80-100	$C_{V80-100}$	CHF/km	$C_{relV80-100} * S$	0.2336321
V100-120	$C_{V100-120}$	CHF/km	$C_{relV100-120} * S$	0.2525486
V120-140	$C_{V120-140}$	CHF/km	$C_{relV120-140} * S$	0.2752889
V140-160	$C_{V140-160}$	CHF/km	$C_{relV140-160} * S$	
V>160	$C_{V>160}$	CHF/km	$C_{relV>160-200} * S$	
R<300	$C_{R<300}$	CHF/km	$C_{relR<300} * S$	1.2951393
R300-400	$C_{R300-400}$	CHF/km	$C_{relR300-400} * S$	0.4620901
R400-600	$C_{R400-600}$	CHF/km	$C_{relR400-600} * S$	0.3698148
R600-1200	$C_{R600-1200}$	CHF/km	$C_{relR600-1200} * S$	0.2955315

Figure 6-2 : coûts de référence du véhicule et prix des véhicules-types dans le calculateur Excel

À la première ligne du tableau des prix de véhicule, le prix C_{Tpv} causé par le T_{pv} est indiqué séparément. Il est une partie intégrante de la somme du prix des véhicules dans les alignements. L'indication séparée permet le remboursement du prix des véhicules remorqués dans le système de décompte pour le prix du sillon.

Si le travail de constitution des coûts par groupes (cf. chapitre 8) ne débouche sur aucune autre attribution de prix, ces prix sont valables pour le véhicule.

7. Simulation multicorps

Les sections suivantes décrivent l'exécution de simulations multicorps, qui sont nécessaires pour déterminer les valeurs de l'énergie de frottement spécifique W_b et la force de conduite dans les aiguilles Y_{W185} à placer dans le tableau (cf. ch. 6.1).

7.1. Modèle multicorps

7.1.1. Modélisation

Pour calculer les variables requises, il faut modéliser le véhicule de sorte que ses caractéristiques pertinentes pour le prix du sillon soient représentées. Un modèle établi pour effectuer des calculs de preuve en technique du roulement remplit en règle générale ces conditions. Il faut éventuellement l'adapter à l'état de charge.

Les dispositifs d'enclenchement actif des véhicules à caisses inclinables ou à compensation de roulis ne doivent pas être pris en compte dans les simulations.

7.1.2. Poids / force d'appui des roues

Le modèle correspond à la charge définie au ch. 5.2 et indique, pour les essieux à étudier, la force d'appui des roues utilisée dans le calcul du prix (ch. 6.1; valeur moyenne de la roue droite et gauche, avec une tolérance de 1 %).

7.1.3. Modélisation de la voie

Le modèle porte sur une voie à suspension élastique à paramètres conformes à ERRI B176 [5].

La Figure 7-1 indique les valeurs standard utilisées dans la modélisation de la voie élastique.

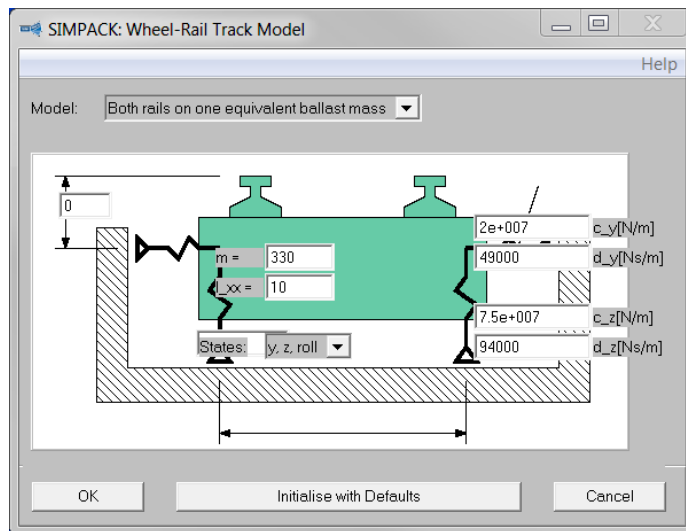


Figure 7-1 : modélisation de la voie élastique (par exemple dans SIMPACK 8.9)

7.1.4. Contact roue-rail

La modélisation du contact roue-rail peut varier d'un logiciel de simulation à l'autre. Elle doit être conforme aux règles de la technique. Le contact roue-rail elliptique et non elliptique utilisé dans SIMPACK de Dassault Systèmes³ peut être considéré comme une référence.

Les exigences suivantes relatives au contact roue-rail sont valables pour toutes les simulations.

7.1.4.1. Profil de roue et de rail

La combinaison du profil de roue EN 13715 – **S 1002 / e32.5** avec le profil de rail EN 13674 – **60E1** (avec inclinaison 1:40) est actuellement la combinaison de profil standard en Suisse. Pour que les mêmes exigences soient valables pour tous les véhicules, les simulations doivent toutes se faire avec ce profil apparié (nouveau profil théorique).

7.1.4.2. Écartement des roues et écartement des rails

L'écartement des roues des essieux est de 1425 mm. L'écartement des rails de la voie est fixé à la dimension nominale de 1435 mm (un surécartement dans les courbes de $R \leq 275$ m est négligé).

7.1.4.3. Friction

Une friction de 0,3 entre roue et rail est fixée (constante sur tout le profil).

7.2. Simulations

La fréquence d'échantillonnage des simulations doit être 100 Hz ou plus.

7.2.1. Simulations pour déterminer l'énergie de frottement spécifique W_b

7.2.1.1. Tracé

Les calculs sont exécutés pour divers rayons de courbure. La simulation est nécessaire dans ces rayons de courbure (270 m, 343 m, 480 m et 800 m) pour déterminer l'énergie de frottement spécifique dans les rayons de référence (cf. Tableau 6-2). Afin d'obtenir une courbe plus précise de l'énergie de frottement en fonction du rayon de courbure, on la calcule aussi pour les rayons-limite des quatre catégories : 250 m, 300 m, 400 m, 600 m et 1200 m.

Le passage d'une courbe à droite et à gauche est simulé avec un dévers de 150 mm.

Pour le calcul avec SIMPACK, les plans de tracé sont fournis (*track_cartographic/CFF_S-Curve_R250_u150.trc* etc.). Les deux courbes sont à chaque fois réunies en un tracé. Elles sont séparées par un alignement intermédiaire et se terminent par un alignement à chaque extrémité. Le diagramme de la Figure 7-2 visualise l'allure des courbes.

La longueur minimale de l'alignement du début est de 200 m. Les courbes constantes ont toujours une longueur de 600 m. L'alignement intermédiaire entre courbe à droite et à gauche a une longueur

³ www.simpack.com

d'au moins 100 m, de même que l'alignement à la fin. La longueur des courbes de raccord et des rampes de dévers varient avec le rayon de courbure.

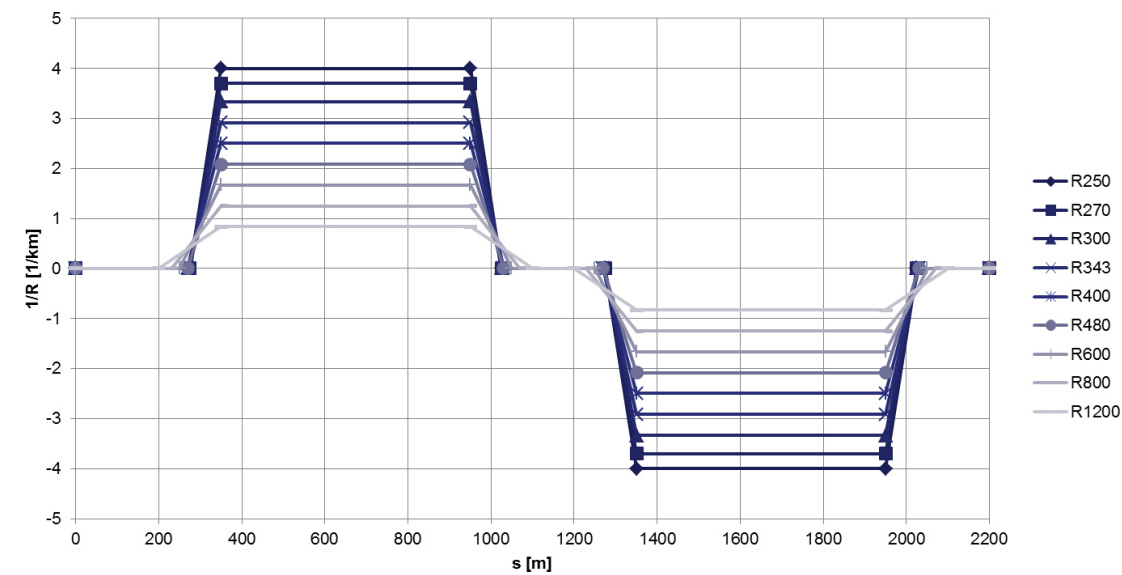


Figure 7-2 : courbures des tracés proposé

Le tableau suivant rend compte des caractéristiques de chacune des sections de tracé dans le détail.

Rayon de cour- bure	Longueur de section				
	Début	Transition	Courbe com- plète	Alignement in- termédiaire	Fin
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
250	275	75	600	250	175.0
270	275	75	600	250	175.0
300	275	75	600	250	175.0
343	270	80	600	240	170.0
400	270	80	600	240	170.0
480	270	80	600	240	170.0
600	250	100	600	200	150.0
800	230	120	600	160	130.0
1200	200	150	600	100	100.0

Tableau 7-1 : longueur de section des éléments de tracé

7.2.1.2. Défaut de l’assiette de la voie

Les passages dans les courbes sont simulés avec un défaut de l’assiette de la voie. Ce dernier est défini au modèle (*track_excitated/CFF_TrackExcitation_2000m.tre*) dans le format SIMPACK comme un dérangement lié à la voie (*track-related*) et les définitions des signes sont les suivantes :

Déplacement directionnel (latéral) :	positif vers la droite
Déplacement longitudinal (vertical) :	positif vers le bas
Déplacement transversal (sur l'axe des x) :	positif dans le sens horaire
Changement d'écartement des rails :	non pertinent, car la constante est nulle

L'assiette de la voie commence au bout de 200 m et a une longueur *fade-in* et *fade-out* de 20 m.

Un résumé des plans de tracé et des défauts de l'assiette de la voie sous forme de *Track-Database-File* se trouve également au modèle (par exemple *mbs_db_track/CFF_S-Curve_R250_u150_excited.sys*).

7.2.1.3. Vitesse / traction

Les simulations sont exécutées à vitesse constante sans apport de couple d'entraînement sur les essieux.

Pour les divers rayons de courbure, il en résulte des prescriptions pour l'accélération transversale non neutralisée (a_t) et donc pour la vitesse (cf. aussi ch. 6.2.1.2) suivant la catégorie de train (R, A, D, W, N) pour laquelle le véhicule est immatriculé. Ces prescriptions figurent au Tableau 6-2.

La vitesse maximale de simulation est la vitesse maximale autorisée du véhicule, c'est-à-dire que par dérogation au Tableau 6-2, dans la simulation, un véhicule de la série A dont la vitesse maximale est de 120 km/h ne franchira une courbe de 800 et 1200 m qu'à 120 km/h.

Si le véhicule circule dans plusieurs catégories de train, les simulations sont exécutées pour toutes les séries pertinentes.

Catégorie de rayon	Rayon	Vitesse		
		<u>catégorie R, A, D</u>	<u>catégorie W</u>	<u>catégorie N</u>
	<u>Rayon de référence</u>	at 0.85 m/s ² , (id 130 mm)	at 1.32 m/s ² , (id 200 mm)	at 1.80 m/s ² , (id 275 mm)
	[m]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
R≤300	250	77.02	86.34	94.92
	<u>270</u>	80.04	89.73	98.65
	300	84.37	94.58	103.98
300<R≤400	<u>343</u>	90.22	101.14	111.19
	400	97.43	109.22	120.07
400<R≤600	<u>480</u>	106.73	119.64	131.53
	600	119.32	133.76	147.05
600<R≤1200	<u>800</u>	137.78	154.46	169.80
	1200	168.75	189.17	207.97

Tableau 7-2 : vitesses de référence pour diverses catégories de rayon et de vitesse

7.2.2. Simulation pour déterminer la force transversale dans les aiguilles Y_{W185}

7.2.2.1. Tracé

Le calcul est exécuté dans une courbe en S de rayons de 185 m sans courbes de raccord ni dévers et avec un alignement intermédiaire de 6 m. Il s'agit du cas de figure d'une jonction typique. Un tel tracé sert également à des tests d'évaluation du comportement du véhicule sur les aiguilles conformément à l'annexe F de FprEN14363 :2016 [2].

Un plan de tracé (*track_cartographic/CFF_S-Curve_Switch_R185_u000.trc*) ou un *track-database-file* (*mbs_db_track/CFF_S-Curve_Switch_R185_u000.sys*) est mis à disposition pour le calcul avec SIMPACK.

L'alignement du début de section s'étend sur 200 m. Il est suivi d'une courbe à droite de 20,5 m de longueur, d'un alignement intermédiaire de 6 m puis d'une courbe à gauche de 20,5 m de longueur également. Le tracé se termine par un alignement de 100 m. Le diagramme suivant visualise schématiquement le tracé.

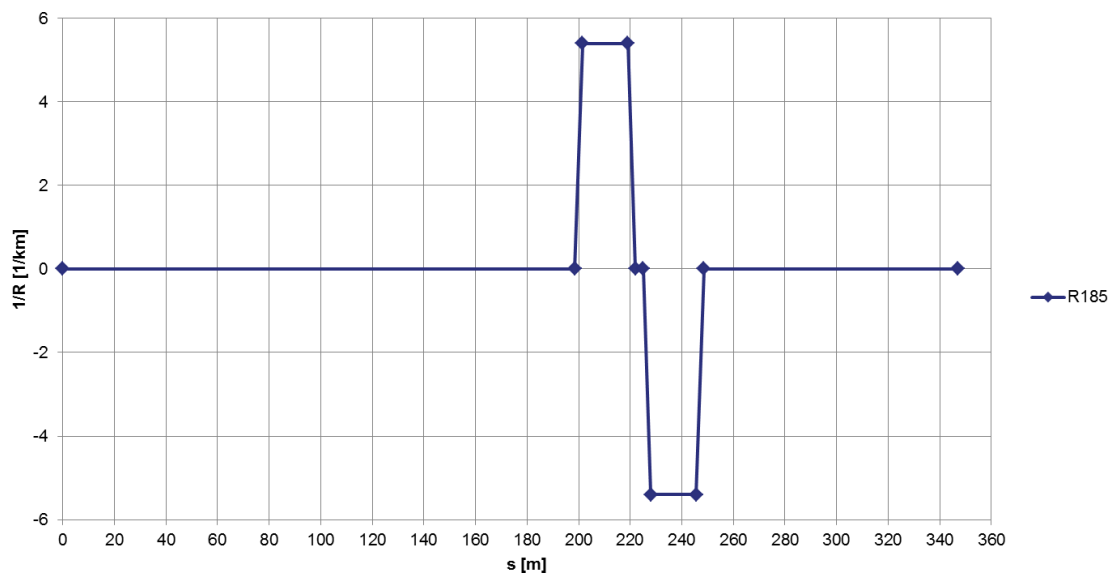


Figure 7-3 : variation de courbure du tracé d'une aiguille

Les modélisations de tracé ne contiennent aucune courbe de raccord. La transition entre alignement et courbe est rendue par une « smoothing section » dans le SIMPACK, dont la demi-longueur est 1,5 m.

7.2.2.2. Défaut de l'assiette de la voie

Les défauts de l'assiette de la voie ne sont pas pris en compte.

7.2.2.3. Vitesse / traction

Les simulations sont exécutées à vitesse constante de 40 km/h sans apport de couple d'entraînement sur les essieux.

Pour le cas où le véhicule serait soumis à une limitation de vitesse fixée par les prescriptions d'exploitation pour le passage sur les aiguilles (par exemple 30 km/h au maximum), on peut utiliser cette vitesse réduite.

7.2.3. Modèles SIMPACK

Le tableau suivant indique les documents liés aux présentes instructions.

Classeur	Nom du document	Descriptif
track_cartographic	CFF_S-Curve_R250_u150.trc	Données de tracé pour les simulations servant à déterminer l'énergie de frottement spécifique W_b
	CFF_S-Curve_R270_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R300_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R343_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R400_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R480_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R600_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R800_u150.trc	
	CFF_S-Curve_R1200_u150.trc	
track_cartographic	CFF_S-Curve_Switch_R185_u000.trc	Plan de tracé pour la simulation servant à déterminer la force transversale sur les aiguilles Y_{W185}
track_excitated	CFF_TrackExcitation_2000m.tre	Défaut de l'assiette de la voie pour toutes les simulations sauf la conduite sur aiguilles
mbs_db_track	CFF_S-Curve_R250_u150_excitated.sys	SIMPACK « <i>track database file</i> » pour les simulations servant à déterminer l'énergie de frottement spécifique W_b (tracé et défaut de l'assiette de la voie)
	CFF_S-Curve_R270_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R300_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R343_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R400_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R480_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R600_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R800_u150_excitated.sys	
	CFF_S-Curve_R1200_u150_excitated.sys	
mbs_db_track	CFF_S-Curve_Switch_R185_u000.sys	SIMPACK « <i>track database file</i> » pour la simulation servant à déterminer la force transversale sur les aiguilles Y_{W185}

Tableau 7-3 : Liste des modèles SIMPACK

Les documents sont des textes que l'on peut utiliser directement pour des simulations avec SIMPACK. Dans d'autres programmes de simulation, les tracés et l'assiette de la voie doivent être réalisés selon les modèles. Il en va de même si une autre description de voie est souhaitée dans SIMPACK.

Si le modèle de véhicule requiert des longueurs différentes de celles des modèles au début et à la fin du tracé, on peut les adapter. Les modifications doivent être prises en compte lors des évaluations.

7.3. Évaluation

7.3.1. Évaluation de l'énergie de frottement spécifique W_b

L'énergie de frottement spécifique W_b (également désignée par T_y dans la bibliographie) est le produit des forces de patinage T et des patinages v dans le contact roue/rail, et a pour unité de mesure Nm/m. Le calcul s'effectue selon la formule : $W_b = |T_{xvx}| + |T_{yvy}|$. On renonce à prendre en compte le couple de forage et le glissement de forage, car le calcul n'est pas disponible dans tous les modèles de contact. Il est donc possible de comparer les calculs.

L'évaluation de l'énergie de frottement spécifique a lieu sans filtrage dans les domaines des courbes complètes. Pour la courbe à droite, on considère la section de 400 à 900 m, pour la courbe à gauche la section de 1400 m à 1900 m (sur le tracé décrit au ch. 7.2.1.1). Dans ces sections, la valeur moyenne pour la roue extérieure à la courbe est déterminée.

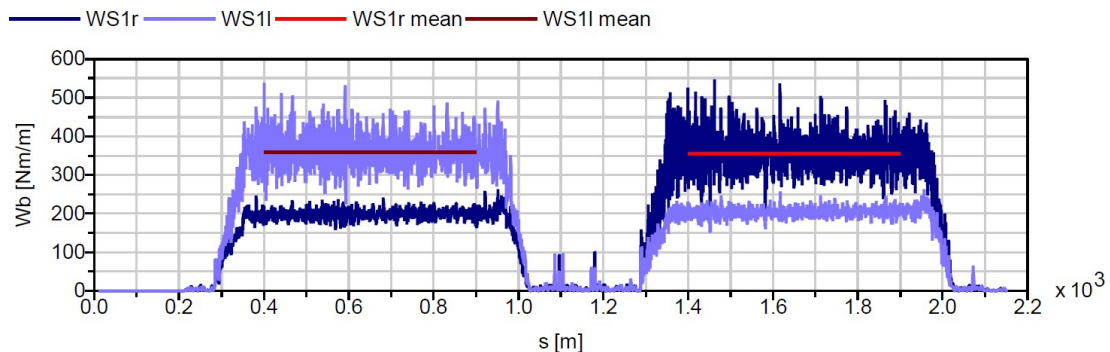


Figure 7-4 : diagramme de résultats d'une simulation pour l'évaluation de W_b

À partir des deux valeurs des courbes à droite et à gauche, on calcule la valeur moyenne. On obtient alors, à partir des 9 calculs de simulation, 9 valeurs de W_b pour chaque essieu pertinent. Ces valeurs sont référencées dans un tableau de résultats et présentées dans un diagramme du rayon de courbure (Figure 7-5).

Le calcul du prix des véhicules requiert les valeurs W_b pour les rayons de référence de 270, 343, 480 et 800 m (marqués en rouge sur la Figure 7-5). Les résultats pour les autres rayons de courbure servent au contrôle. Si le comportement du véhicule est normal, les valeurs W_b des rayons de référence se situent entre les valeurs obtenues pour les rayons-limites de chaque catégorie (par exemple $W_{b,R270} \approx (W_{b,R250} + W_{b,R300})/2$). Si tel est le cas, on utilise directement les valeurs W_b des rayons de référence pour calculer le prix.

Si la valeur moyenne des valeurs W_b des rayons-limite s'écarte significativement de la valeur calculée du rayon de référence, il faut analyser les résultats plus précisément et définir une valeur W_b plausible pour la catégorie de rayon correspondante. Ce cas serait envisageable dans certaines circonstances sur des constructions de châssis dans lesquelles des éléments spéciaux influencent le réglage radial des essieux suivant le rayon de courbure, d'où des discontinuités dans la fonction W_b . Il peut être nécessaire de procéder à des simulations supplémentaires sur d'autres rayons de courbure pour une analyse plus précise d'un tel comportement spécial.

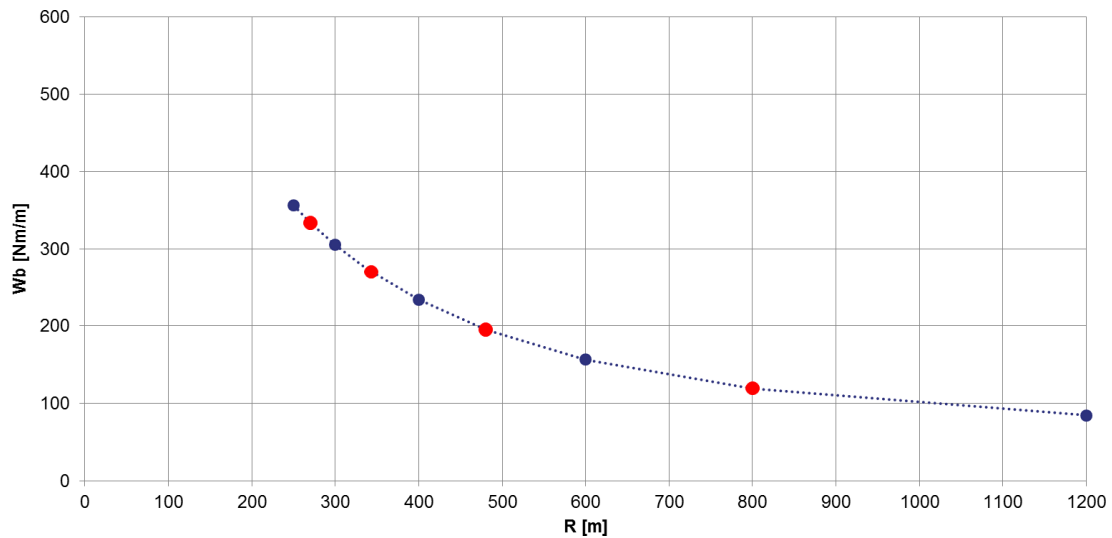


Figure 7-5 : résultats pour W_b sur divers rayons de courbure (rayons de référence marqués en rouge)

Les valeurs peuvent servir au besoin à l'approximation de la courbe W_b par une fonction appropriée. Si le calcul du prix requiert à l'avenir une autre répartition des catégories de rayon, on peut calculer de nouvelles valeurs pour d'autres rayons de référence à l'aide de la fonction.

7.3.2. Évaluation de la force transversale sur les aiguilles Y_{W185}

Pour déterminer Y_{W185} , on évalue les forces Y de l'essieu avant. Pour ce faire, on filtre les forces par la procédure de la moyenne mobile avec une longueur moyenne de 2,0 m et une longueur de progression de 0,5 m. La Figure 7-6 visualise la courbe des forces pour les roues droite et gauche de l'essieu avant. On détermine la valeur maximale absolue pour les deux roues. Y_{W185} est la plus grande des deux valeurs.

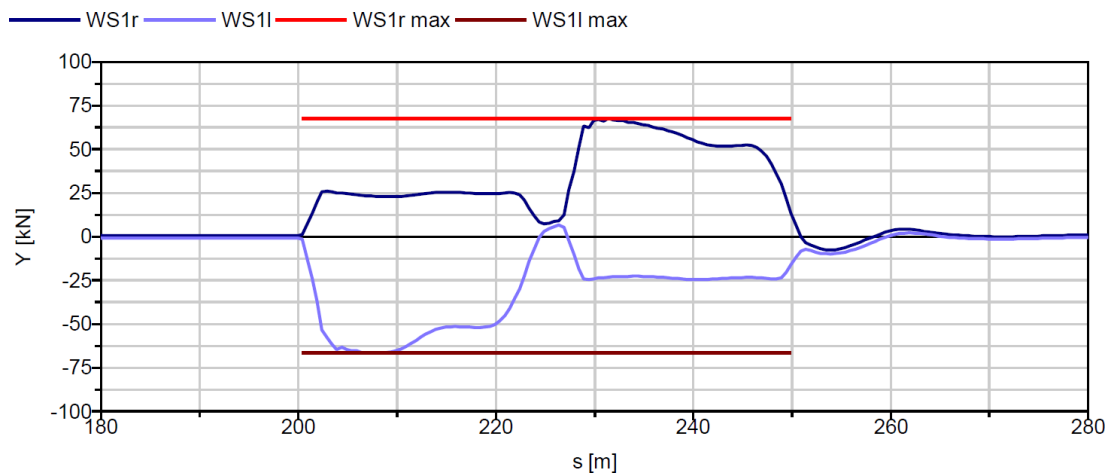


Figure 7-6 : diagramme de résultats d'une simulation pour l'évaluation de Y_{W185}

7.4. Documentation des simulations multicorps

7.4.1. Documentation sur les modèles

La documentation sur les modèles indique le logiciel SMC utilisé (y c. le n° de version) et explique le modèle SMC. Si les calculs ne sont pas faits avec SIMPACK, il peut être nécessaire de décrire plus précisément le programme et notamment la modélisation du contact roue-rail qui y est utilisée. Il faut apporter la preuve que le logiciel utilisé correspond à l'état d'avancement de la technique dans le domaine de la simulation de véhicules ferroviaires (par exemple au moyen de simulations d'étalonnage des performances).

Même si on utilise SIMPACK, les réglages choisis pour le contact roue-rail sont documentés (par ex. 'equivalent elastic' ou 'discrete elastic') et justifiés le cas échéant.

La profondeur de modélisation du modèle est décrite, en expliquant quand on a eu recours à des simplifications techniques, par exemple en réunissant des éléments et en déterminant des valeurs de remplacement pour la rigidité. Les particularités des essieux notamment (navigateurs, ancrages de croisement etc.) sont décrites. La modélisation des éléments mécatroniques (par exemple l'inclinaison active des caisses dans les courbes ou le pilotage du châssis) est décrite.

7.4.2. Séquence de données de paramètres-types

La séquence de données de paramètres-types décrit tous les éléments utilisés dans le modèle avec leurs paramètres. Une remodelisation doit être possible à l'aide de ce descriptif. Les valeurs obtenues peuvent être plausibilisées à l'aide des résultats de simulation du modèle.

L'annexe (chap. 12) contient un exemple d'une séquence de données de ce type.

7.4.3. Compte-rendu de calcul

Le compte-rendu de calcul indique les forces d'appui des roues du modèle (voir 7.1.2) et les compare avec les résultats du protocole de pesée. Les véhicules munis d'une charge à prendre en compte sont comparés au pesage avec un modèle du véhicule vide. Les forces d'appui des roues du véhicule vide et chargé sont indiquées.

Le contrôle de plausibilité du modèle est exécuté au moyen d'une analyse des valeurs propres. Les valeurs propres (fréquences et taux d'amortissement de Lehr) sont documentées jusqu'à 20 Hz.

Le compte-rendu explique si le tracé a été adapté dans les simulations spécifiques au prix du sillon (ch. 7.2).

Les résultats des simulations sont présentés entre autres dans des diagrammes, comme ceux du ch. 7.3. La présentation des résultats attendue est la suivante :

- Diagrammes de résultats des essieux avant pertinents :
 - $W_b(s)$ (cf. Figure 7-4)
 - $Y_{W185}(s)$ (cf. Figure 7-6)
- Présentation $W_b(R)$ (cf. Figure 7-5)
- Récapitulatif des résultats W_b

Le rapport contient les indications suivantes sur les personnes qui participent au calcul :

- Nom
- Coordonnées
- Qualification (cf. aussi ch. 3.3.1.1)
- Références du projet

7.4.4. Récapitulatifs de résultats

Pour toutes les simulations, les résultats sont remis sous forme numérique (données ASCII, SIM-PACK-sbr ou MATLAB-mat). Les variables simulées qui y sont contenues sans filtrage figurent au Tableau 7-4.

Grandeur de simulation	Désignation	Unité
Variables globales		
Coordonnées temporelles	t	s
Coordonnées locales	s	m
Vitesse relative	vrel	m/s
Variables roue-rail (pour tous les essieux)		
Angle d'attaque	alpha	rad
Force verticale	Q	N
Force latérale	Y	N
Force latérale/force verticale	Y/Q	-
Force longitudinale de patinage	Tx	N
Force transversale de patinage	Ty	N
Patinage longitudinal	nux	-
Patinage transversal	nuy	-
Accélérations		
Accélération transversale sur le plan de roulement de la voie	at	m/s ²
Accélération transversale dans la caisse sur le châssis	ay	m/s ²
Accélération verticale dans la caisse sur le châssis	az	m/s ²

Tableau 7-4 : liste des grandeurs de simulation dans les récapitulatifs de résultats

Si l'on utilise d'autres désignations ou unités, elles sont indiquées par exemple dans le compte-rendu de calcul.

8. Calcul des coûts groupés

8.1. Motifs et principes

8.1.1. Incertitudes au sujet des données de véhicule

Le calcul des coûts implique la connaissance des paramètres de véhicule. Or ceux-ci ne sont pas fournis dans la même qualité pour chaque véhicule. Les données des véhicules anciens présentent parfois notamment des données de fiabilité réduite, car les paramètres de véhicule requis pour le calcul comportent des lacunes. Les données sont souvent soumises à une estimation qualifiée. Plus le véhicule est récent, moins la documentation pose problème. Un fabricant de véhicules dispose du meilleur accès aux données d'un véhicule. On après des années d'exploitation, quelques variables peuvent toutefois s'écarter des indications d'origine du fabricant. Ainsi, un changement de composants peut entraîner une modification du poids de service.

Les paramètres suivants présentent les plus grandes incertitudes ou la plus grande influence sur le calcul des coûts et leur fiabilité doit donc être vérifiée spécialement :

- Masse du véhicule (poids de service)
- Masse non suspendue
- Rigidité longitudinale des essieux
- Amortissement anti-lacet
- Moment d'inertie de masse du châssis autour de l'axe vertical
- Valeurs de frottement des éléments de construction soumis à frottement

Des groupes de véhicules avec les mêmes coûts sont formés lorsque leurs coûts de référence sont proches dans toutes les catégories de vitesse et de rayon. Le motif de ce procédé est l'hypothèse que l'on ne peut pas exclure avec certitude que les différences de coût marginales ne résultent pas de raisons techniques mais plutôt d'incertitudes /variations des paramètres d'entrée.

8.1.2. Effets des incertitudes de données sur le calcul des coûts

L'influence des variations de la force d'appui des roues Q_0 et de la masse non suspendue m_u sur les coûts se vérifie directement dans les calculs analytiques. L'incidence sur W_b et Y_{W185} d'un changement de paramètres des variables obtenues par simulation SMC a été déterminée à l'aide de véhicules de référence et de simulations sélectionnées. Pour le cas où un changement de paramètre entraînerait une réduction du dégât, il en résulte les facteurs indiqués au Tableau 8-1 pour les grandeurs saisies.

Les facteurs globaux pour W_b et Y_{W185} sont obtenus par multiplication des sous-facteurs pertinents. On suppose ainsi qu'une erreur en défaveur du véhicule a été faite dans l'estimation des valeurs nominales de tous les paramètres d'influence. Les grandeurs saisies sont multipliées par les facteurs de sorte qu'un nouveau calcul des coûts donne une limite inférieure des coûts de référence du véhicule.

Une limite supérieure des coûts de référence du véhicule est également déterminée par la même procédure. Son facteur est symétrique à 1 et s'obtient par la formule $f_o = 2 - f_u$ (par exemple, le facteur supérieur de Q_0 , pour un écart de 2,5%, est : $2 - 0.975 = 1.025$).

Cette limite supérieure a été utilisée pour la constitution de groupes de coûts, qui réunissent des véhicules semblables.

Paramètres d'influence		Facteurs pour les grandeurs saisies			
		Q_0	m_u	W_b	Y_{W185}
Variation du poids de service					
- pas de différence de série, nouvelles construction	1.0%	0.99000		0.99236	0.99500
- véhicules anciens avec <i>refits</i>	2.5%	0.97500		0.98090	0.98750
- véhicules anciens avec <i>refits</i> , diverses ETF	5.0%	0.95000		0.96180	0.97500
Incertitude de la masse non suspendue					
- essieu porteur à frein à sabot	0%		1.00000		
- essieu porteur à frein à disque	5%		0.95000		
- traction suspendue	8%		0.92000		
- traction partiellement suspendue -/non suspendue	15%		0.85000		
Rigidité longitudinale des essieux					
- $c_x \geq 30$ kN/mm				0.98000	1.00000
- $15 \text{ kN/mm} \leq c_x < 30 \text{ kN/mm}$				0.97900	1.00000
- $8 \text{ kN/mm} \leq c_x < 15 \text{ kN/mm}$				0.93200	1.00000
- $c_x < 8 \text{ kN/mm}$				0.88700	0.99200
Amortissement anti-lacet					
- pas d'amortisseur anti-lacet ou ligne caractéristique connue exactement					1.00000
- ligne caractéristique estimée					0.97400
Moment d'inertie de masse du châssis autour de l'axe vertical					
- données exactes de CAO					0.98860
- données estimées					0.98340
Friction des éléments					
- pas d'éléments de friction				1.00000	1.00000
- $\mu < 0.08$				0.97000	0.95730
- $0.08 \leq \mu < 0.15$				0.94700	0.92980
- $\mu \geq 0.15$				0.91600	0.90720

Tableau 8-1 : matrice des facteurs de grandeurs saisies pour le calcul de la limite inférieure des coûts de véhicule

8.1.3. Coûts groupés originaux du prix de base lié à l'usure

Les principes suivants s'appliquent aux véhicules d'un groupe de coûts :

- la catégorie de véhicule (cf. ch. 5.1) est la même,
- le nombre d'essieux est le même,
- la catégorie de train et la vitesse maximale sont les mêmes,
- le dégât qu'ils occasionnent et leurs coûts de référence sont semblables dans toutes les catégories de vitesse et de rayon.

Pour déterminer les coûts du matériel roulant existant, on a analysé les limites inférieures et supérieures des coûts de référence des véhicules qui correspondent à ces critères. De nouveaux coûts de référence leur ont été attribués lorsque leurs coûts nominaux dans toutes les 10 catégories de vitesse et de rayon se situaient entre les limites inférieures et supérieures des coûts d'un autre véhicule.

La Figure 8-1 visualise la procédure : les coûts nominaux du véhicule B se situent entre les limites de coûts du véhicule A et ceux du véhicule D entre celles du véhicule B, ce qui est illustré de manière

exemplaire dans les catégories 1 (V0-80) et 2 (V80-100) et qui se vérifie dans toutes les autres catégories. Les coûts nominaux des véhicules E et F ne se situent entre les limites de coûts de l'autre véhicule que dans la catégorie 1. Pour la catégorie 2, la condition n'est pas remplie. Le véhicule C ne présente aucun recoupement avec d'autres véhicules.

Les nouveaux coûts groupés sont la valeur moyenne pondérée suivant la prestation kilométrique de chacun des coûts de référence du véhicule. Les coûts groupés ne sont fixés que pour le trafic actuel et ne sont plus modifiés par les nouveaux véhicules ajoutés.

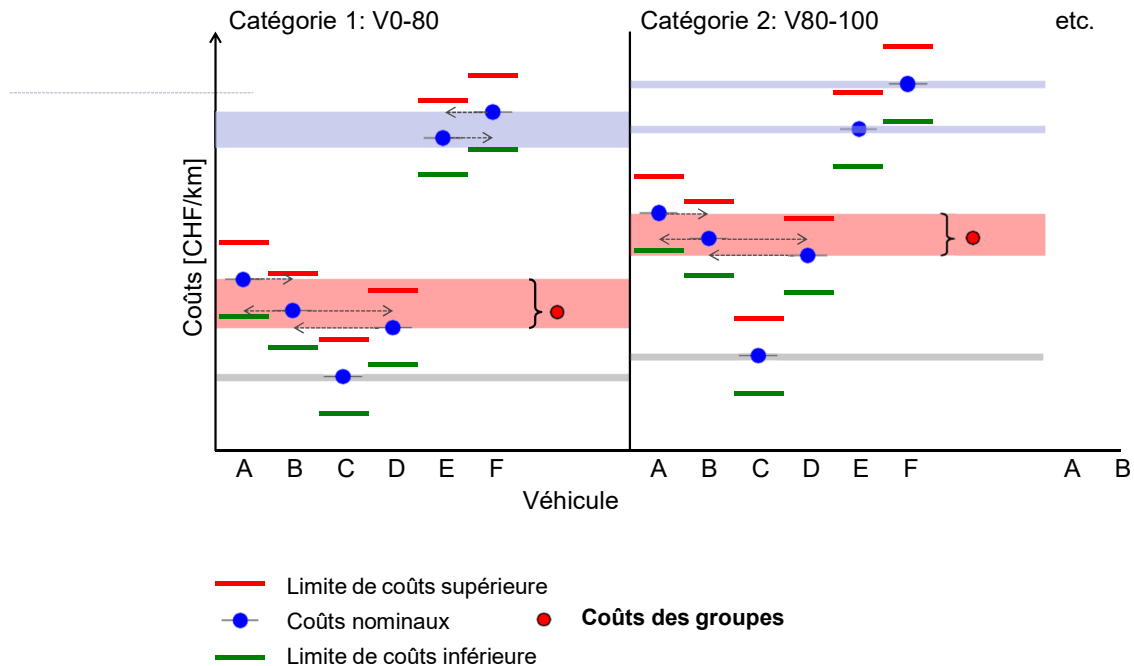


Figure 8-1 : règle de détermination des coûts groupés

8.1.4. Attribution des nouveaux véhicules aux groupes de coûts

Il est possible de reprendre les coûts de référence d'un véhicule pour le calcul des coûts de référence d'un nouveau véhicule. À la différence des coûts initiaux groupés, dans l'exploitation opérationnelle du matériel roulant existant, les limites supérieures et inférieures de coûts ne sont pas publiées. Le contrôle de l'agrégation des coûts se fait donc pour simplifier uniquement avec les valeurs indicatives du nouveau véhicule.

Si les deux premières conditions d'attribution à un groupe de coûts (même catégorie de véhicule et même nombre d'essieux) sont remplies, on vérifie si les coûts de référence d'un véhicule préexistant se trouvent dans une marge de 50 % de la limite de coûts supérieure et de 100 % de l'inférieure du véhicule à évaluer. Si tel est le cas dans toutes les 10 catégories, le nouveau véhicule reprend les coûts du véhicule préexistant.

Dans l'exemple de la figure 8-2, les coûts des véhicules B et D se trouvent entre 50 % de la limite supérieure et la limite inférieure complète du nouveau véhicule dans la catégorie 1, dans la catégorie 2 ce n'est le cas que pour les véhicules A et D. La condition n'est donc remplie dans les deux catégories que par les coûts du véhicule D. À condition que ce soit aussi le cas dans les autres catégories, les coûts du véhicule D sont attribués au nouveau véhicule.

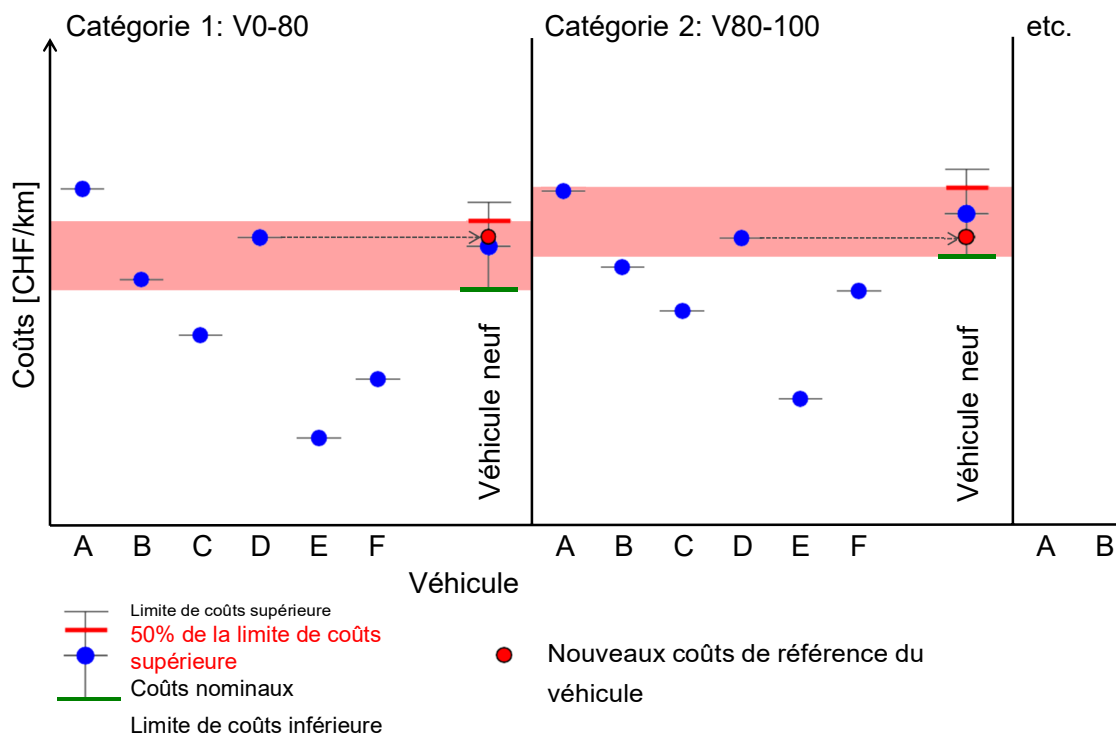


figure 8-2 : règle pour la reprise des coûts de référence du véhicule par de nouveaux véhicules

Le motif de la limite asymétrique est le suivant : si un nouveau véhicule peut adopter les coûts de référence du véhicule d'un matériel roulant existant avec des coûts nominaux plus bas, l'infrastructure prend en charge 100 % de la différence entre les deux coûts nominaux. Le véhicule bénéficie d'un rabais (cf. figure 8-2 : catégorie 2, nouveau véhicule). Au contraire, un véhicule peut aussi bénéficier d'un prix plus élevé que le prix nominal. Le but est ici que les risques des plus grands écarts et la différence soient équitablement partagés entre les ETF et les GI.

8.1.5. Coûts significatifs dans une famille de véhicules

Le prix de base lié à l'usure est une incitation à des conceptions de véhicules, mais pas à des caractéristiques d'équipement. D'après ce principe, les véhicules de même conception sont réunis en une famille d'un type de véhicule. Il n'y a donc entre autres pas de différenciation entre 1^{re} ou 2^e classe des voitures voyageurs. Une répartition plus fine s'interdit déjà par le décompte encore maîtrisable de wagons dans les sauts de classe de 4 t de poids par essieu. En principe toutefois, même dans une famille de véhicules, des écarts (par exemple de poids) peuvent être si importants qu'une réunion ne soit pas tenable.

Si la somme de tous les coûts de référence des catégories de vitesse et de rayon d'un véhicule dans la famille varie de plus de 5% des coûts agrégés de la famille de véhicules, il est justifié de gérer un type de véhicule spécial. Le principe ne s'applique pas lorsque des mesures de construction sont prises sur le châssis de manière à réduire la sollicitation. Si les effets sur les coûts sont inférieurs à 5 %, il faut établir des conventions bilatérales avec le service spécialisé Prix du véhicule.

8.2. Attribution des coûts pour un nouveau véhicule

Pour déterminer la limite de coûts inférieure et supérieure, il faut recenser la marge d'incertitude des données. Cette section est occultée dans l'outil Excel par regroupement, afin que le tableau reste pratique pour le calcul des coûts nominaux. La section peut s'ouvrir de côté en cliquant sur **+** ou **-** (figure 8-3).

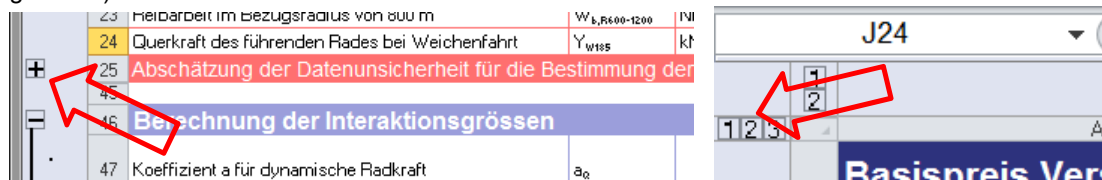


figure 8-3 : ouvrir des regroupements occultés dans Excel

La section des indications sur les incertitudes (Figure 8-4) contient des listes de sélection pour saisir les indications pertinentes.

Estimation de l'incertitude des données pour la fixation du barème des prix						
Variation par rapport au poids de service		- pas de différence de série, construction: 1% - anciens véhicules transformés: 2.5% - anciens véhicules transf. usure ETF: 5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
Incertitude sur la masse non suspendue en raison du type de construction du moteur / de l'essieu		- données exactes disponibles: 0% - essieu porteur frein à sabots: 0% - essieu porteur frein à disques: 5% - traction, suspension complète: 8% - traction, susp. partielle ou sans susp.: 15%	8%	5%		
Rigidité longitudinale de la direction de l'essieu		- $c_x \geq 30 \text{ kN/mm}$: 20 kN/mm - $8 \text{ kN/mm} \leq c_x < 15 \text{ kN/mm}$: 10 kN/mm - $c_x < 8 \text{ kN/mm}$: 5 kN/mm	20 kN/mm	10 kN/mm		
Insécurité dans l'amortisseur anti-lacet		- pas d'amortisseur anti-lacet: 0% - caractéristique connue avec précision: 0% - caractéristique évaluée: 20%	20%	0%		
Incertitude sur le moment d'inertie de masse du châssis autour de l'axe vertical		- données exactes de CAO: 20% - données évaluées: 40%	40%	40%		
Valeurs de frottement des éléments de friction		- pas d'éléments de frottement: 0.00 - $\mu < 0.08$: 0.05 - $0.08 \leq \mu < 0.15$: 0.10 - $\mu \geq 0.15$: 0.20	0.00	0.00		

Figure 8-4 : saisie des incertitudes dans le tableau Excel

Options de sélection disponibles :

Paramètres d'influence	Descriptif	Sélection
Variation du poids de service	- pas de différence de série, nouvelles construction	1.0%
	- véhicules anciens avec <i>refits</i>	2.5%
	- véhicules anciens avec <i>refits</i> , diverses ETF	5%
Incertitude de la masse non suspendue à cause de la conception de la traction / de l'essieu	- données exactes disponibles	0%
	- essieu porteur à frein à sabot	0%
	- essieu porteur à frein à disque	5%
	- traction suspendue	8%
	- traction partiellement suspendue / non suspendue	15%
Rigidité longitudinale des essieux	- $c_x \geq 30 \text{ kN/mm}$	40 kN/mm
	- $15 \text{ kN/mm} \leq c_x < 30 \text{ kN/mm}$	20 kN/mm
	- $8 \text{ kN/mm} \leq c_x < 15 \text{ kN/mm}$	10 kN/mm
	- $c_x < 8 \text{ kN/mm}$	5 kN/mm
Incertitudes dans l'amortissement anti-lacet	- pas d'amortisseur anti-lacet	0%
	- ligne caractéristique connue exactement	0%
	- ligne caractéristique estimée	20%
Incertitudes du moment d'inertie de masse du châssis autour de l'axe vertical	- données exactes de CAO	20%
	- données estimées	40%
Friction des éléments	- pas d'éléments de friction	0.00
	- $\mu < 0.08$	0.05
	- $0.08 \leq \mu < 0.15$	0.10
	- $\mu \geq 0.15$	0.20

Tableau 8-2 : options de sélection pour la saisie des incertitudes de données

Les facteurs de modification des grandeurs d'entrée sont déterminés automatiquement, en utilisant les valeurs du Tableau 8-1. Les facteurs pour W_b et Y_{W185} sont obtenus par multiplication des sous-facteurs. Pour voir ce domaine, il faut ouvrir le regroupement.

		Faktor f_u		Faktor f_o	
Faktor für Q_0	$f_u Q_0$	0.9750	0.9750	1.0250	1.0250
Faktor für m_u	$f_u m_u$	0.9200	0.9500	1.0800	1.0500
Facteur partiel pour W_b issu de la variation du poids de	$f_u W_b \Sigma m$	0.9809	0.9809	1.0191	1.0191
Facteur partiel pour W_b issu de l'essieu	$f_u W_b C_x$	0.9790	0.9320	1.0210	1.0680
Facteur partiel pour W_b issu des éléments de friction	$f_u W_b \mu$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Facteur pour W_b	$f_u W_b$	0.9603	0.9142	1.0405	1.0884
Facteur partiel pour Y_{W185} issu de la variation du poids	$f_u Y_{W185} \Sigma m$	0.9875	0.9875	1.0125	1.0125
Facteur partiel pour Y_{W185} issu de l'essieu	$f_u Y_{W185} C_x$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Facteur partiel pour Y_{W185} issu de l'amortissement anti	$f_u Y_{W185} SD$	0.9740	1.0000	1.0260	1.0000
Facteur partiel pour Y_{W185} issu du moment d'inertie de	$f_u Y_{W185} J_{zz}$	0.9834	0.9834	1.0166	1.0166
Facteur partiel pour Y_{W185} issu des éléments de frictio	$f_u Y_{W185} \mu$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Facteur pour Y_{W185}	$f_u Y_{W185}$	0.9459	0.9711	1.0561	1.0293

Figure 8-5 : facteurs des grandeurs saisies pour le calcul de la limite de coûts inférieure et supérieure

Les facteurs sont multipliés par les grandeurs saisies. Dans la Figure 8-6, les valeurs nominales et modifiées du tableau Excel sont juxtaposées.

Données des châssis			nominal		nominal * facteur f_u		nominal * facteur f_o	
Nombre d'essieux de même type par type de châssis	$n_{RS/FW}$		2	2	2	2	2	2
Nombre de châssis par type par véhicule	n_{FW}		2	2	2	2	2	2
Nombre d'essieux moteurs de même type par véhicule	n_{RS}		4	0	4	0	4	0
Nombre d'essieux de même type par véhicule	n_{RS}		4	4	4	4	4	4
Force statique d'appui des roues	Q_0	kN	75.00	50.00	73.13	48.75	76.88	51.25
Masse non suspendue par roue	m_u	kg	800.00	500.00	736.00	475.00	864.00	525.00
Rayon de la roue (valeur nominale pour les roues neuves)	R_{Rad}	m	0.450	0.400	0.450	0.400	0.450	0.400
Prestation maximale à la roue	P_{Rad}	kW	150		150	0	150	0
Frottement dans un rayon de référence de 270 m	$W_b R < 300$	Nm/m	230.00	150.00	220.87	137.13	239.32	163.26
Frottement dans un rayon de référence de 343 m	$W_b R 300-400$	Nm/m	170.00	100.00	163.25	91.42	176.89	108.84
Frottement dans un rayon de référence de 480 m	$W_b R 400-600$	Nm/m	100.00	60.00	96.03	54.85	104.05	65.30
Frottement dans un rayon de référence de 800 m	$W_b R 600-1200$	Nm/m	50.00	25.00	48.02	22.85	52.03	27.21
Force transversale de la roue avant au passage d'une aiguille	Y_{W185}	kN	50.00	20.00	47.29	19.42	52.80	20.59

Figure 8-6 : valeurs nominales et modifiées des grandeurs saisies

Avec ces grandeurs d'entrée modifiées, on calcule la limite de coûts inférieure et supérieure avec les mêmes formules que pour le calcul des coûts nominaux (cf. chapitre 6). Leurs valeurs se trouvent à côté des valeurs nominales (Figure 8-7). On calcule également les valeurs pour les 50 % de la limite supérieure à partir des coûts nominaux et de la limite de coûts supérieure.

Calcul des coûts de référence du véhicule												
		Termes de l'addition					nominal		limite inférieure	limite supérieure	nite supérieure	définitif
T _{pv}		CreT _{pv}	CHF/km	k.D1	k.D3			0.0074883				0.0074883
V0-80	CreV ₀₋₈₀	CHF/km	k.D1	k.D2	k.D3		k.D5	0.0943495	0.0903792	0.0983759	0.0963627	0.0931379
V80-100	CreV ₈₀₋₁₀₀	CHF/km	k.D1	k.D2	k.D3		k.D5	0.0994179	0.0948773	0.1040452	0.1017316	0.0979107
V100-120	CreV ₁₀₀₋₁₂₀	CHF/km	k.D1	k.D2	k.D3		k.D5	0.1074675	0.1019921	0.1130813	0.1102744	0.1054641
V120-140	CreV ₁₂₀₋₁₄₀	CHF/km	k.D1	k.D2	k.D3		k.D5	0.1171442	0.1105127	0.1239807	0.1205625	0.1145140
V140-160	CreV ₁₄₀₋₁₆₀	CHF/km	k.D1	k.D2	k.D3		k.D5					
V>160	CreV _{>160}	CHF/km	k.D1	k.D2	k.D3		k.D5					
R<300	CreR _{<300}	CHF/km	k.D1			k.D4.1	k.D4.2	0.5511231	0.5243518	0.5789818	0.5650525	0.5419830
R300-400	CreR ₃₀₀₋₄₀₀	CHF/km	k.D1			k.D4.1	k.D4.2	0.1966341	0.1846714	0.2092607	0.2029474	0.1934358
R400-600	CreR ₄₀₀₋₆₀₀	CHF/km	k.D1			k.D4.1	k.D4.2	0.1573680	0.1470910	0.1678637	0.1626159	0.1546429
R600-1200	CreR ₆₀₀₋₁₂₀₀	CHF/km	k.D1			k.D4.1	k.D4.2	0.1257581	0.1168522	0.1349221	0.1303401	0.1228913

Figure 8-7 : coûts nominaux de référence du véhicule, coûts pour les limites inférieure et supérieure et coûts de référence définitifs du véhicule

Le contrôle de similarité avec un véhicule déjà disponible a lieu sur le tableau « check », qui contient les coûts de référence de tous les véhicules déjà disponibles dans le système de décompte. Les informations nécessaires au contrôle sur les nouveaux véhicules (catégorie de véhicule, catégorie de train et nombre d'essieux) ainsi que leurs coûts calculés inférieurs et 50 % supérieurs sont transférés automatiquement au moyen d'une combinaison issue du tableau « calcul » (lignes 5 et 6).

Les cellules de la liste des types de véhicules sont préformatées conditionnellement. Si les correspondances nécessaires à l'attribution du prix sont réalisées, la cellule est marquée en bleu. Si tous les critères sont réunis, la désignation du véhicule est en gras dans la première colonne (Figure 8-8) et la colonne de contrôle est cochée.

				Coûts de référence du véhicule											
Catégorie de véhicules		Série	Nombre d'essieux	V0-80	V80-100	V100-120	V120-140	V140-160	V>160	R<300	R300-400	R400-600	R600-1200		
Véhicule	Train automoteur-type			0.0963627	0.1017316	0.1102744	0.1205625			0.5650525	0.2029474	0.1626159	0.1303401	50% obere Grenze	
				0.0903792	0.0948773	0.1019921	0.1105127			0.5243518	0.1846714	0.1470910	0.1168522	Limite inférieure	
Véhicule 1	Lok	R	6	0.1510871	0.1635836	0.1837253	0.2082606			1.0107505	0.3967308	0.2893000	0.2270954	Prüfung	
Véhicule 2	Lok	R	4	0.1464876	0.1664992	0.1999846	0.2422003			1.2209357	0.4526667	0.3196579	0.2552310		
Véhicule 3	Lok	R	4	0.1206865	0.1297126	0.1441466	0.1615968	0.1823628	0.2507528	0.8254640	0.3066815	0.2064779	0.1597997		
Véhicule 4	PWg	R	4	0.0520682	0.0562905	0.0632168	0.0718009	0.0822351	0.1176784	0.4382514	0.1669084	0.1163389	0.0860851		
Véhicule 5	PWg	R	4	0.0474380	0.0505427	0.0555383	0.0616193			0.3424486	0.1385076	0.0992857	0.0705639		
Véhicule 6	PWg	R	4	0.0503859	0.0543582	0.0609105	0.0690738	0.0790404	0.1131098	0.3823754	0.1482373	0.1047794	0.0789117		
Véhicule 7	GWg	A	4	0.0581551	0.0616642	0.0671318				0.1960293	0.0864004	0.0748735	0.0659798		
Véhicule 8	GWg	A	4	0.0711102	0.0754558	0.0821320				0.2745221	0.1117063	0.0942799	0.0814529		
Véhicule 9	GWg	A	6	0.0361309	0.0383223	0.0419756				0.2306857	0.0619675	0.0484851	0.0395127		
Véhicule 10	GWg	A	8	0.1481907	0.1568820	0.1702344				0.8272118	0.3372819	0.2580901	0.1932251		
Véhicule 11	TZ	R	6	0.0662868	0.0694036	0.0742626	0.0800005			0.4152971	0.1658172	0.1200641	0.0851562		
Véhicule 12	TZ	R	8	0.0931379	0.0979107	0.1054641	0.1145140			0.5419830	0.1934358	0.1546429	0.1228913		✓
Véhicule 13	TZ	N	28	0.3360144	0.3557232	0.3872966	0.4255709	0.4712559	0.6225597	1.9256344	0.7106315	0.4939941	0.3940132		
Véhicule 14	TZ	R	16	0.2425713	0.2630215	0.2962891	0.3371856			1.8521294	0.7175811	0.5174221	0.3973726		
Véhicule 15	TZ	R	8	0.0801446	0.0836931	0.0893308	0.0961142			0.4522671	0.1914501	0.1422814	0.1032014		
Véhicule 16	TZ	R	10	0.0964468	0.1007025	0.1074541	0.1155673			0.5581133	0.2342828	0.1732180	0.1252778		
Véhicule 17	TZ	R	24	0.3103186	0.3327239	0.3690510	0.4135872	0.4672441		2.1253057	0.8530115	0.6058495	0.4575858		
Véhicule 18	TZ	R	8	0.0800067	0.0835925	0.0891918				0.5077586	0.2031229	0.1463229	0.0955132		
Véhicule 19	TZ	R	26	0.4324829	0.4653983	0.5184514	0.5831016	0.6605744	0.9184107	5.5763298	2.1930876	1.3455836	0.6757673		
Véhicule 20	TZ	R	4	0.0887816	0.0970709	0.1105639	0.1271543			0.8296564	0.3260981	0.2200207	0.1262102		
Véhicule 21	TZ	R	60	0.8966278	0.9762953	1.1067946	1.2682587	1.4642065	2.1280719	7.4470752	2.9457661	2.1194967	1.5323820		

Figure 8-8 : liste des types de véhicules avec correspondances marquées pour l'attribution des coûts

Dans l'exemple de la Figure 8-8, tous les critères sont réalisés pour le véhicule 12. Les coûts de référence de ce véhicule sont les coûts valables pour le nouveau véhicule. Ils sont repris sur le tableau « calcul » dans la colonne « définitif » (cf. Figure 8-7).

Après multiplication des coûts de référence du véhicule définitifs par le facteur d'échelle, on obtient le prix définitif des véhicules (Figure 8-9), qui est utilisé pour le décompte dans le SPS.

S				2 . 35			2 . 35
				nominal			
C _{TPV}	CHF/km	Crel _{TPV} * S		0.0175975			0.0175975
C _{V0-80}	CHF/km	Crel _{V0-80} * S		0.2217213			0.2188741
C _{V80-100}	CHF/km	Crel _{V80-100} * S		0.2336321			0.2300901
C _{V100-120}	CHF/km	Crel _{V100-120} * S		0.2525486			0.2478406
C _{V120-140}	CHF/km	Crel _{V120-140} * S		0.2752889			0.2691079
C _{V140-160}	CHF/km	Crel _{V140-160} * S					
C _{V>160}	CHF/km	Crel _{V160-200} * S					
C _{R<300}	CHF/km	Crel _{R1-300} * S		1.2951393			1.2736601
C _{R300-400}	CHF/km	Crel _{R300-400} * S		0.4620901			0.4545741
C _{R400-600}	CHF/km	Crel _{R400-600} * S		0.3698148			0.3634108
C _{R600-1200}	CHF/km	Crel _{R600-1200} * S		0.2955315			0.2887946

Figure 8-9 : calcul du prix définitif des véhicules

À ce stade, le calcul du prix est terminé.

9. Abréviations/ signes des formules

Abréviation	Signification
a_q	accélérations transversales non neutralisées
A_{roue}	surface d'appui des roues (surface de contact ; dans les alignements)
$A_{roue,eff}$	surface d'appui des roues adoptée pour le calcul de T_{pv}
C_{rel}	coûts de référence du véhicule
C	prix du véhicule
c_x	rigidité longitudinale des essieux
D_j	dégât (<i>damage</i>)
ETF	Entreprise de transport ferroviaire
GI	gestionnaire d'infrastructure
k_j	facteur de calibrage des coûts
SMC	système multicorps
m_u	masse non suspendue
n_{FW}	nombre d'essieux avant = nombre de châssis
n_{RS}	nombre d'essieux à incidences délétères
n_{TRS}	nombre d'essieux entraînés à incidences délétères
P_{roue}	puissance transmise dans le point d'appui des roues
Q	force dynamique d'appui des roues
Q_0	force statique d'appui des roues
R	rayon de courbure
R_{Rad}	rayon de la roue
R_{rail}	rayon du rail
S	facteur d'échelle
SPS	système du prix du sillon
T_{pv}	valeur caractéristique de la traction ou <i>traction power value</i> (densité de puissance dans la surface efficace d'appui des roues)
T_x	Force de glissement longitudinal
T_y	Force de glissement latéral
$\ddot{u}$	dévers
$\ddot{u}_f$	insuffisance de dévers
V	vitesse
V_{zul}	vitesse maximale autorisée du véhicule
V_{Wzul}	vitesse autorisée sur les aiguilles à 40-km/h
W_b	énergie de frottement (dissipation d'énergie à l'essieu avant dans la courbe) produit de la force de frottement et du patinage)
X	paramètres généraux
Y_{W185}	force de conduite dynamique dans les aiguilles EW185
M	friction des éléments de friction utilisés dans le modèle multicorps
v_x	glissement longitudinal
v_y	glissement latéral
$2a^*$	entraxe des bogies
$2a^+$	empattement
Indice	
I	véhicule
J	effet de dégât
K	type de châssis

10. Bibliographie

- [1] Ordonnance de l'OFT relative à l'ordonnance sur l'accès au réseau ferroviaire (OARF-OFT) 21.06.2016, annexe 1a
- [2] EN 14363:2016: "Railway applications - Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Running Behaviour and stationary tests; English version, CEN European Committee for Standardization, mars 2016
- [3] GM/TT0088, Permissible Track Forces for Railway Vehicles, Révision : A, Date : OCT 1993
- [4] Dubbel – Taschenbuch pour den Maschinenbau, 21^e édition, ISBN : 3540221425 Springer Verlag, 2004
- [5] ERRI B176, Bogies with steered or steering wheelsets European Rail Research Institute (ERRI), 1989
- [6] Abschlussbericht Verschleissfaktor-Fahrbahn, SBB Infrastruktur - Anlagenmanagement Fahrbahn, 2016
- [7] I. Nerlich „Wie wirtschaftlich ist gleisschonendes Rollmaterial... wie einen Verkehr von morgen in der zukünftigen Auswirkung auf Gleisinstandhaltungen beziffern?“ ZEV Rail Tagungsband SFT Graz 2014, S138 ff
- [8] www.onestopshop.ch / prestations & prix / facturation du prix du sillon
- [9] www.onestopshop.ch / prestations & prix / fixation du prix du véhicule
- [10] www.onestopshop.ch / accès au réseau technique / données de matériel roulant

11. Contacts

11.1. Décompte du prix du sillon

Interlocuteur principal des ETF ETF et détenteurs pour les questions de décompte du prix du sillon :
onestopshop@sbb.ch

11.2. Service spécialisé Prix du véhicule

Interlocuteur des ETF, détenteurs, fabricants etc. concernant le calcul du prix des véhicules :
oss.vehiclepricing@sbb.ch

11.3. OFT

OFT, Division financement, section Accès au marché :
marktzugang@bav.admin.ch

Tél. : +41 58 462 05 50

12. Annexe : Exemple de jeu de données paramétriques

Un exemple virtuel d'une séquence de données de paramètres-types d'un véhicule fictif (locomotive à quatre essieux) est donné ici. Il indique les données de base requises pour la modélisation d'un modèle simple.

La forme du jeu de données paramétriques choisie dans l'exemple n'est pas contraignante. Le volume des données peut être nettement plus important pour un modèle détaillé.

12.1. Données de masse

Les données de masse fournissent les informations nécessaires sur les corps présents dans le modèle SMC. Ils comprennent la masse, le centre de gravité de la masse et le moment d'inertie de masse. Il est important d'indiquer le système de référence des coordonnées.

		Masse	Coordonnées du centre de gravité				Moment d'inertie de masse autour du centre de gravité		
		m [kg]	x [m]	y [m]	z [m]		Jxx [kgm ²]	Jyy [kgm ²]	Jzz [kgm ²]
Masse non suspendue									
essieu	1, 3	2600.0	1.420	-0.072	-0.623	1)	1'300.00	300.00	1'300.00
y c. disques de freins, grande roue	2, 4	2600.0	-1.420	0.072	-0.623	1)	1'300.00	300.00	1'300.00
boîte d'essieu	1, 3	220.0	1.450	+/-1.000	-0.500	1)	2.00	5.00	5.00
y c. 50% suspension primaire etc.	2, 4	220.0	-1.450	+/-1.000	-0.500	1)	2.00	5.00	5.00
Masse partiellement suspendue									
moteur et mécanisme	1, 3	3385.0	0.968	0.0846	-0.625	1)	1'330.00	330.00	1'330.00
	2, 4	3385.0	-0.968	-0.0846	-0.625	1)	1'330.00	330.00	1'330.00
Masse à suspension primaire									
cadre de châssis	1	4000.0	5.000	0	-0.500	2)	3'000.00	4'700.00	7'600.00
y c. 50% suspension, freins, etc.	2	4000.0	-5.000	0	-0.500	2)	3'000.00	4'700.00	7'600.00
Masse à suspension secondaire									
caisse		50000.0	0.000	0	-1.820	2)	80'000.00	850'000.00	800'000.00
Système de référence des coordonnées :									
1) niveau supérieur du rail (NSR), milieu du châssis									
2) niveau supérieur du rail (NSR), milieu de la caisse									

Tableau 12-1 : données de masse

12.2. Géométrie

Les données géométriques contiennent les informations sur la position des points d'attaque des éléments de couplage avec lesquels le corps est relié. Ici aussi, les indications sur le système de référence sont nécessaires.

Point de couplage	Coordonnées					
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
essieu	1, 3			2, 4		
points de référence (NSR, PDR rel., milieu du châssis)	1.400	0.000	-0.500	-1.400	0.000	-0.500
boîte d'essieu droite	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000
boîte d'essieu gauche	0.000	-1.000	0.000	0.000	-1.000	0.000

Point de couplage	Coordonnées					
stockage de grande roue	0.000	-0.530	0.000	0.000	0.530	0.000
suspension par le nez	0.000	0.550	0.000	0.000	-0.550	0.000
corps de boîte	1, 3			2, 4		
point de référence (NSR rel., milieu du châssis)	1.400	1.000	-0.500	-1.400	1.000	-0.500
essieux droit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
essieux gauche	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
amortisseur primaire droit	0.000	0.200	-0.170	0.000	0.200	-0.170
amortisseur primaire gauche	0.000	-0.200	-0.170	0.000	-0.200	-0.170
moteur, mécanisme	1, 3			2, 4		
point de référence (NSR rel., milieu du châssis)	0.900	0.000	-0.500	-0.900	0.000	-0.500
couple de torsion	-0.500	-0.200	0.400	0.500	0.200	0.400
stockage de grande roue	0.500	-0.530	0.000	-0.500	0.530	0.000
suspension par le nez	0.500	0.550	0.000	-0.500	-0.550	0.000
châssis	1			2		
point de référence (NSR rel., milieu de la caisse)	5.000	0.000	0.000	-5.000	0.000	0.000
essieux 1d	1.500	1.000	-0.500	1.500	1.000	-0.500
essieux 1g	1.500	-1.000	-0.500	1.500	-1.000	-0.500
essieux 2d	-1.500	1.000	-0.500	-1.500	1.000	-0.500
essieux 2g	-1.500	-1.000	-0.500	-1.500	-1.000	-0.500
amortisseur primaire 1 droit	1.500	1.200	-1.150	1.500	1.200	-1.150
amortisseur primaire 1 gauche	1.500	-1.200	-1.150	1.500	-1.200	-1.150
amortisseur primaire 2 droit	-1.500	1.200	-1.150	-1.500	1.200	-1.150
amortisseur primaire 2 gauche	-1.500	-1.200	-1.150	-1.500	-1.200	-1.150
amortisseur secondaire droit extérieur	0.000	1.180	-0.900	0.000	1.180	-0.900
amortisseur secondaire droit intérieur	0.000	0.900	-0.900	0.000	0.900	-0.900
amortisseur secondaire gauche extérieur	0.000	-1.180	-0.900	0.000	-1.180	-0.900
amortisseur secondaire gauche intérieur	0.000	-0.900	-0.900	0.000	-0.900	-0.900
amortisseur vertical droit	0.300	1.300	-0.450	0.300	1.300	-0.450
amortisseur vertical gauche	-0.300	-1.300	-0.450	-0.300	-1.300	-0.450
amortisseur transversal	0.000	0.600	-0.400	0.000	0.600	-0.400
entraînement longitudinal, pivot de bogie	0.000	0.000	-0.600	0.000	0.000	-0.600
amortisseur anti-lacet droit	-0.200	1.300	-0.700	-0.200	1.300	-0.700
amortisseur anti-lacet gauche	0.200	-1.300	-0.700	0.200	-1.300	-0.700
couple de torsion 1	0.400	-0.200	-0.900	0.400	-0.200	-0.900
couple de torsion 2	-0.400	0.200	-0.900	-0.400	0.200	-0.900
butée transversale	0.000	0.000	-0.900	0.000	0.000	-0.900
caisse de loc						
point de référence (NSR rel., milieu de la caisse)	0.000	0.000	0.000			
amortisseur secondaire 1 droit extérieur	5.000	1.200	-1.500			
amortisseur secondaire 1 droit intérieur	5.000	0.900	-1.500			
amortisseur secondaire 1 gauche extérieur	5.000	-1.200	-1.500			
amortisseur secondaire 1 gauche intérieur	5.000	-0.900	-1.500			
amortisseur secondaire 2 droit extérieur	-5.000	1.200	-1.500			
amortisseur secondaire 2 droit intérieur	-5.000	0.900	-1.500			
amortisseur secondaire 2 gauche extérieur	-5.000	-1.200	-1.500			
amortisseur secondaire 2 gauche intérieur	-5.000	-0.900	-1.500			
amortisseur vertical secondaire 1 droit	5.200	1.400	-1.000			
amortisseur vertical secondaire 1 gauche	4.600	-1.400	-1.000			
amortisseur vertical secondaire 2 droit	-4.600	1.400	-1.000			
amortisseur vertical secondaire 2 gauche	-5.250	-1.400	-1.000			
amortisseur anti-lacet 1 droit	3.800	1.450	-0.800			

Point de couplage	Coordonnées					
amortisseur anti-lacet 1 gauche	6.100	-1.450	-0.800			
amortisseur anti-lacet 2 droit	-6.100	1.450	-0.800			
amortisseur anti-lacet 2 gauche	-3.800	-1.450	-0.800			
amortisseur transversal 1	5.000	0.200	-0.300			
amortisseur transversal 2	-5.000	-0.200	-0.300			
pivot de bogie 1	5.000	0.000	-0.500			
pivot de bogie 2	-5.000	0.000	-0.500			
butée transversale	5.000	0.000	-0.900			

Tableau 12-2 : coordonnées couplées des éléments de force

12.3. Données des éléments de couplage

Les paramètres des éléments de couplage sont en grande partie des indications de rigidité et de système amortisseur. Suivant la modélisation, ce sont des valeurs isolées des éléments de construction ou des valeurs globales, qui réunissent les rigidités effectives ou amortissements de plusieurs éléments de construction (rigidités systémiques ou parasites). Les paramètres des éléments de friction peuvent fournir d'autres indications.

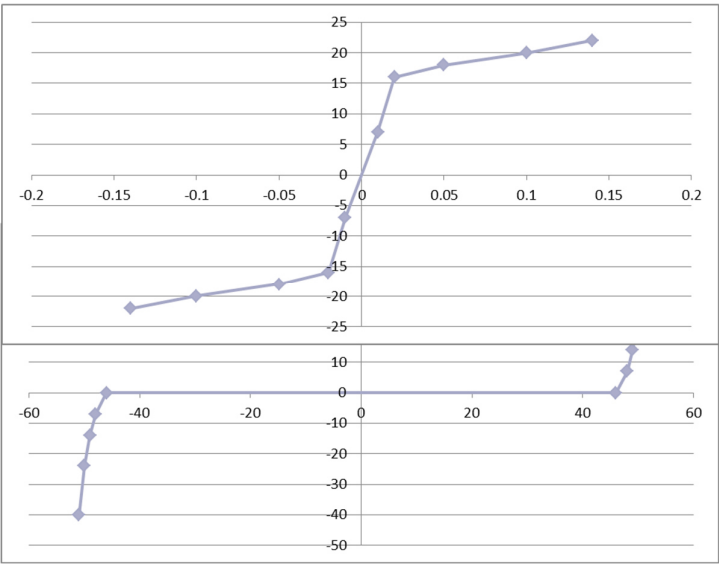
Élément de couplage	Unité	Direction		
		x	y	z
échelon primaire (valeurs par côté d'essieu)				
rigidité	kN/mm	20.0	15.0	20.0
amortisseur primaire				
système amortisseur vertical	kNs/m			45.0
rigidité totale efficace	kN/mm			22.0
échelon secondaire (valeurs par page DG)				
rigidité	kN/mm	0.025	0.4	1.4
amortisseur transversal				
système amortisseur, amortisseur transversal	kNs/m		60	
rigidité totale efficace	kN/mm		10	
amortisseur vertical secondaire				
système amortisseur, amortisseur vertical	kNs/m			70
rigidité totale efficace	kN/mm			15
amortisseur anti-lacet				
système amortisseur, valeur nominale	kNs/m	900		
rigidité totale efficace	kN/mm	10		
couple de torsion				
rigidité (linéaire) [kN/mm]	kN/mm			175

Tableau 12-3 : Données paramétriques des éléments de couplage

12.4. Ligne caractéristique, courbe des éléments de couplage

Si le comportement d'éléments de construction n'est pas linéaire, ses caractéristiques sont décrites avec une ligne caractéristique.

Amortisseur anti-lacet



vitesse	m/s	-0.14	-0.1	-0.05	-0.02	-0.01	0.01	0.02	0.05	0.1	0.14
force	kN	-22	-20	-18	-16	-7	7	16	18	20	22

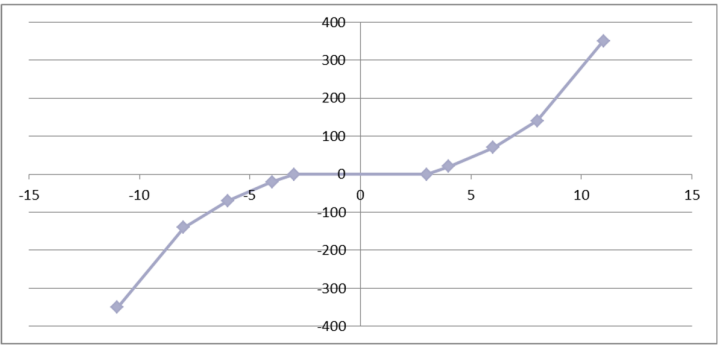
Figure 12-1 : exemple d'une courbe caractéristique d'amortisseur non linéaire

Butée transversale

Weg	mm	-51	-50	-49	-48	-46	46	48	49	50	51
Force ft	kN	-40	-24	-14	-7	0	0	7	14	24	40

Figure 12-2 : exemple d'une courbe caractéristique de butée non linéaire

Entraînement longitudinal



Parcours	mm	-11	-8	-6	-4	-3	3	4	6	8	11
Force	kN	-350	-140	-70	-20	0	0	20	70	140	350

Figure 12-3 : exemple d'une courbe caractéristique de rigidité non linéaire

13. Annexe : reconnaissance d'organisme de contrôle indépendant par l'OFT

13.1. Exigences de principe

L'OFT peut reconnaître des organismes de contrôle indépendants pour le calcul du prix des véhicules conformément à l'art. 1, al. 4, OARF-OFT (OARF-OFT ; RS 742.122.4), à condition qu'ils remplissent les conditions de compétence professionnelle et d'indépendance, cf. ci-dessous.

a. Compétence professionnelle :

La personne responsable du contrôle du calcul du prix des véhicules possède au moins les qualifications suivantes :

- Diplôme d'une haute école d'ingénieur ou d'études supérieures en mathématiques /sciences naturelles
- Expérience dans le domaine de l'ingénierie des châssis et de l'homologation des véhicules > 5 ans
- Expérience essentielle avérée de la modélisation et du calcul de SMC > 5 ans

b. Indépendance :

La personne responsable du contrôle du calcul

- ne peut exercer aucune activité en rapport avec l'objet à examiner (véhicule) qui ne soit pas exigée dans les présentes instructions.
- Ne doit pas avoir d'intérêt personnel au résultat du contrôle ni avoir précédemment exercé d'autre fonction en rapport avec l'objet à examiner, ni être intéressé de quelque façon que ce soit.
- doit être indépendant des personnes intéressées au résultat.

Le mandat doit respecter son indépendance et ne doit notamment exercer aucune pression au sujet des résultats attendus.

13.2. Demande et examen

La demande de reconnaissance doit être adressée à l'OFT, division Financement (cf. 11.3 Contacts) et contient au moins l'auto-déclaration (formulaire type) ci-dessous.

L'OFT examine la plausibilité de la demande et s'assure le cas échéant de la capacité professionnelle en demandant des précisions au requérant, aux instances indiquées comme références et à d'autres sources appropriées. Si les conditions sont remplies, l'OFT confirme sa reconnaissance par écrit.

L'OFT publie une liste des organismes de contrôle⁴ reconnus sur son [site internet](https://www.bav.admin.ch/bav/fr/home/modes-de-transport/chemin-de-fer/informations-specialisees/prix-du-sillon.html).

⁴ <https://www.bav.admin.ch/bav/fr/home/modes-de-transport/chemin-de-fer/informations-specialisees/prix-du-sillon.html>

13.3. Formulaire-type

1. Désignation de la société

	Indications (à remplir par le soumissionnaire)
Désignation de la société	
Adresse postale	Rue NPA Pays Localité
Téléphone	
Fax	
Courriel	
URL /	

2. Interlocuteur responsable

	Indications (à remplir par le soumissionnaire)
Nom et prénom	
Fonction / dans la société depuis	
Division et fonction	
Formation pertinente	
Expérience pertinente	
Téléphone	
Fax	
URL / courriel	
Références	

3. Auto-déclaration

Je/nous peux/pouvons confirmer les points suivant :

a. compétence professionnelle :

La personne responsable du contrôle du calcul du prix des véhicules est compétente et possède au moins les qualifications suivantes :

- Diplôme d'une haute école d'ingénieur ou d'études supérieures en mathématiques /sciences naturelles
- Expérience dans le domaine de l'ingénierie des châssis et de l'homologation des véhicules > 5 ans
- Expérience essentielle avérée de la modélisation et du calcul de SMC > 5 ans

b. Indépendance :

La société assure que les tâches de contrôle sont exécutées de manière indépendante.

c. devoir de diligence :

La société assure que les tâches de contrôle qui lui sont confiées sont exécutées avec la plus grande diligence et consciencieusement. Elle prévient l'OFT s'il devait y avoir des désaccords avec le mandant ou le fournisseur de données.

4. Date et signature :

.....