

R RTE 21110

Infrastructure et ballast

Voie normale et voie métrique

Veuillez noter que cette traduction française a été fournie par le logiciel de traduction automatique deepL et qu'elle n'a pas été relue par un spécialiste. Elle peut donc présenter d'importantes erreurs de traduction, de terminologie, de grammaire, etc. En cas de doute, nous vous invitons à consulter la version allemande.

**Projet de
Lecture unique
31.01.2025**

RTE - Ouvrage de référence en ma-

Traduction automatique

R

RTE 21110



Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Éditeur UTP	Date d'édition xx.xx.20xx	Affectation -
Élaboré par Groupe de projet UTP	Validation PL RTE	Remplacement de R RTE 21110 du 01.09.2015
Distributeur Entreprises ferroviaires de l'UTP (Voie normale) (Voie métrique) Office fédéral des transports OFT Boutique en ligne RTE/Téléchargement RTE (rte.utp.ch)	Entrée en vigueur Chaque entreprise ferroviaire fixe pour la date d'entrée en vigueur de cette réglementation.	Versions linguistiques d, f, i Nombre de pages xx

Inrastructure et ballast

Voie normale et voie métrique



Conditions d'application de l'Ouvrage de référence en matière de technique ferroviaire (RTE)

Lors de l'utilisation de ces documents, il faut tenir compte du fait qu'ils ont été rédigés exclusivement pour les besoins des chemins de fer suisses et des entreprises du domaine des TP et qu'ils sont destinés à cet usage. Une application correcte présuppose donc une formation et une pratique adéquates. Le référentiel RTE se limite à deux types de documents :

- Les règlements R sont des compléments ou des propositions de solutions aux décrets et normes souverains ayant un caractère de réglementation ou d'instruction.
- Les règles D comprennent des manuels et des documentations en tant que recommandations et outils d'aide au travail ou, dans des cas exceptionnels, représentent l'état de la technique et la pratique vécue en vue d'une standardisation.

Les formulations au masculin dans le document s'appliquent de la même manière à tous les sexes.

L'Union des transports publics (UTP) ainsi que les personnes ayant participé à l'élaboration de ce règlement de l'Ouvrage de référence en matière de technique ferroviaire (RTE) ne peuvent être tenues responsables des dommages pouvant résulter de l'utilisation des informations contenues dans ce règlement. Toutes les informations sont fournies sans garantie d'exhaustivité ou d'exactitude.

Traduction automatique

Groupe de projet UTP**Direction**

Matthias Niklaus, Chemins de fer fédéraux suisses (CFF SA), Berne

Membres

Kilian Gerber, Chemins de fer fédéraux suisses (CFF SA), Berne
Pascal Häller, Transports publics fribourgeois (TPF), Givisiez
Thomas Kämpfer, Aare Seeland mobil AG (ASM), Langenthal
Manfred Lanz, Schweizerische Südostbahn AG (SOB), Samstagen
Marcel Moser, Schweizerische Südostbahn AG (SOB), Samstagen
Ralph Rechsteiner, Chemins de fer rhétiques SA (RhB), Coire
Martin Siegen, Matterhorn Gotthard Bahn (MGB), Brigue
Michael Zimmermann, BLS Netz AG (BLS), Berne

Soutien aux projets

Stefan Werner, KPZ Fahrbahn AG, Zurich (jusqu'au 31.08.2024)

Traduction (seulement pour Français & Ital.)**Nom, lieu****Lectorat**

Dr. Senta C. Haldimann, Union des transports publics (UTP), Berne

Éditeur

UTP Union des transports publics
Technique ferroviaire
Dählhölzliweg 12, CH-3000 Berne 6
www.voev.ch, RTE@voev.ch

Boutique en ligne RTE/Téléchargement RTE

rte.utp.ch

ISBN xx

Union des transports publics, Berne, mois 20xx

Historique des changements

Date d'émission	Modifications
30.11.2005	1ère édition
01.09.2015	2ème édition
xx.xx.20xx	3ème édition Amélioration de la distinction entre construction neuve et entretien, intégration de matériaux de construction RC, extension des classes de ballast, précision des contrôles de qualité des matériaux et de l'exécution.

Traduction automatique

Préface

Les normes suisses s'appliquent en principe aussi à l'infrastructure ferroviaire. Il présente toutefois des lacunes dans ce domaine spécialisé, qui doivent être comblées par la présente réglementation RTE. Il est fait référence aux règles pertinentes des normes existantes.

Dans le cadre de la révision de la directive OFT/OFEV "Drainage des installations ferroviaires" [1], il est prévisible que le domaine d'application de l'infiltration diffuse s'élargisse et que la charge des eaux de ruissellement des voies ferrées ainsi que les types de drainage changent. Lors de la planification et de la construction de nouvelles installations de drainage, il faut tenir compte de la dernière version de la directive, en plus des chapitres 5.4 et 6.4. Jusqu'à ce que la directive révisée soit disponible, les infiltrations diffuses nécessitent en règle générale des autorisations des autorités cantonales ou de l'OFEV et de l'OFT.

Lors de la mise en œuvre dans un cas concret, les utilisateurs doivent faire appel à leur expérience et utiliser les marges de manœuvre existantes dans le respect des prescriptions supérieures, si cela permet de trouver de meilleures solutions.

Lieu, xx. Mois 20xx

1	Généralités.....	11
1.1	Objectifs de la réglementation.....	11
1.2	Application	11
1.2.1	Domaine de validité.....	11
1.2.2	Remplacement des réglementations existantes	11
2	Bases.....	12
2.1	Réglementation souveraine.....	12
2.2	Normes	12
2.3	Règlements de RTE et règlements des chemins de fer.....	16
2.4	Directives et fiches d'information	18
3	Abréviations et termes	19
3.1	Abréviations	19
3.2	Termes	19
4	Principes	23
4.1	Activités de construction	23
4.1.1	Nouvelle construction	23
4.1.2	Conservation.....	23
4.2	Structure de la voie ferrée.....	24
4.3	Principales fonctions des équipes	25
4.4	Spectre de sollicitation de l'infrastructure	26
4.5	Répartition des voies et prévision de la charge	26
5	Infrastructure pour les nouvelles constructions	27
5.1	Généralités	27
5.2	Déformabilité.....	28
5.2.1	Valeurs limites.....	28
5.2.2	Dimensionnement de l'infrastructure en fonction de la déformabilité	30
5.2.3	Couches d'étanchéité et de fondation	32
5.2.4	Couche de transition sur une infrastructure rigide	32
5.2.5	Structure géométrique.....	33
5.3	Gel.....	34
5.3.1	Généralités.....	34
5.3.2	Dimensionnement de l'infrastructure en fonction du gel	34
5.4	Évacuation des eaux.....	35
5.4.1	Généralités.....	35
5.4.2	Exigences techniques	35
5.4.3	Dimensionnement	36
5.4.4	Contrôle et maintenance	37
5.5	Traversées de conduites.....	37
5.5.1	Étude de projet.....	37
5.5.2	Traversées ferroviaires appartenant au chemin de fer.....	37
5.5.3	Traversées appartenant à des tiers	38
5.5.4	Exécution	38
5.6	Stabilité du filtre	38
5.7	Tolérance de construction	39

5.8	Banquette	39
5.8.1	Généralités.....	39
5.8.2	Géométrie	39
5.8.3	Matériaux	40
5.8.4	Banquette anti-prolifération de la végétation	41
5.9	Remblai.....	41
5.10	Transitions voie libre - infrastructure rigide.....	42
5.11	Tunnel.....	42
5.11.1	Généralités.....	42
5.11.2	Drainage et maintien à sec de la chaussée	42
5.11.3	Drainage drainant de la chaussée dans le tunnel	43
5.11.4	Drainage par refoulement.....	43
5.12	Infrastructure pour voie sans ballast.....	43
5.12.1	Généralités.....	43
5.12.2	Valeurs limites pour la déformabilité de la planie.....	44
6	Infrastructure lors de maintenance	45
6.1	Généralités	45
6.2	Déformabilité.....	47
6.2.1	Valeurs limites.....	47
6.2.2	Choix de l'infrastructure et dimensionnement en fonction de la déformabilité	49
6.2.3	Couche d'étanchéité et de fondation	52
6.2.4	Couche de transition sur une infrastructure rigide	55
6.2.5	Structure géométrique.....	56
6.3	Gel.....	56
6.4	Evacuation des eaux.....	56
6.4.1	Généralités.....	56
6.4.2	Exigences techniques	57
6.4.3	Modification importante selon l'OEaux.....	57
6.4.4	Dimensionnement	58
6.4.5	Contrôle et entretien.....	58
6.5	Traversées de conduites.....	58
6.5.1	Étude de projet.....	58
6.5.2	Traversées appartenant au chemin de fer	59
6.5.3	Traversées appartenant au tiers.....	59
6.5.4	Version.....	59
6.6	Stabilité du filtre	59
6.7	Tolérances de construction	60
6.8	Maintien des banquettes	60
6.8.1	Généralités.....	60
6.8.2	Géométrie et matériaux.....	61
6.8.3	Élargissement des accotements existants.....	61
6.9	Constructions d'animaux dans la zone de la chaussée	62
6.10	Tunnel.....	63
7	Lit de ballast	64
7.1	Structure	64
7.2	Réalisation des sections de ballast dans les voies existantes	65

7.3	Utilisation des matériaux	65
7.4	Évaluation du ballast dans les voies existantes.....	65
8	Propriétés des couches, qualités des matériaux et assurance qualité	67
8.1	Ballast.....	67
8.1.1	Exigences pour le ballast	67
8.1.2	Classes de ballast.....	67
8.2	Couches d'étanchéité.....	67
8.2.1	Application	67
8.2.2	AC Rail.....	68
8.2.3	Couche barrière minérale.....	68
8.2.4	Sable à graviers PSS	68
8.2.5	Membranes d'étanchéité	69
8.2.6	Assurance qualité.....	69
8.3	Mélanges non liés pour couches de fondation	69
8.3.1	Application	69
8.3.2	Propriétés des matériaux et assurance qualité.....	70
8.4	Géosynthétiques	70
8.4.1	Termes et fonctions.....	70
8.4.2	Résistance	72
8.4.3	Produits approuvés et assurance qualité.....	72
8.5	Couches de matériaux stabilisés.....	72
8.5.1	Application	72
8.5.2	Types de matériaux et assurance qualité.....	72
9	Assurance qualité lors de l'exécution.....	73
9.1	Matériel nécessaire.....	73
9.1.1	Mélange non lié et sable de gravier.....	73
9.1.2	Besoin en gravier pour les voies	73
9.1.3	Besoin en ballast par mètre courant de voie.....	74
9.1.4	Matériel nécessaire et excavation pour les aiguillages	75
9.2	Matériel stockage.....	76
9.3	Contrôles	76
9.3.1	Aperçu des contrôles d'exécution.....	76
9.3.2	Essais de matériaux sur le chantier.....	78
9.3.3	Contrôles d'exécution par équipe	81
9.3.4	Carrossabilité des différentes couches.....	90
Annexe A1 - A10 (Généralités).....		91
A1	Éléments de décision pour la planification de l'entretien de la chaussée, exemple des CFF	91
A1.1	Acquisition de bases	91
A1.1.1	Liste de contrôle pour l'acquisition des bases.....	91
A1.2	Expertise géotechnique.....	91
A1.3	Projet d'entretien de la chaussée	92
A1.3.1	Concept "Entretien de la chaussée "	92
A1.3.2	Projet de construction.....	92
A1.4	Exécution et contrôles après la mise en service.....	93

A1.5	Exemple de concept d'entretien de la chaussée	94
A2	Spécification technique des matériaux non liés Mélanges et sable de gravier PSS pour couches de fondation.....	95
A2.1	Objet	95
A2.2	Test d'aptitude	95
A2.3	Mélanges non liés	95
A2.4	Sable à graviers PSS	96
A2.5	Exigences complémentaires pour les essais en laboratoire	99
A2.6	Détermination des valeurs CBR, CBR ₂ et CBR _F	100
A2.7	Détermination de la densité sèche $\rho_{(d \max)}$ et de la teneur en eau optimale w_{opt}	100
A2.8	Détermination de la perméabilité selon Darcy (valeur k)	101
A2.9	Test de compactibilité sur le terrain d'essai	103
A2.10	Assurance qualité.....	103
A2.11	Contrôle du sable à gravier PSS, exemple CFF	104
A3	Réception de l'infrastructure après la mise en place de sable à gravier Protocole de contrôle PSS, exemple CFF	105
A4	Spécification technique du ballast de voie	106
A4.1	Ballast de voie ferrée	106
A4.2	Normes d'essai et exigences techniques	106
A4.2.1	Méthode d'essai	106
A4.2.2	Exigences techniques pour le ballast des voies ferrées.....	107
A4.3	Qualification et gestion de la qualité.....	108
A4.3.1	Aptitude du gisement rocheux	109
A4.3.2	Aptitude du ballast.....	110
A4.3.3	Évaluation de l'usine de ballast	110
A4.3.4	Contrôle de la production en usine	111
A4.3.5	Procédure en cas de défauts.....	111
A5	Protocole d'essai pour le ballast de voie, exemple CFF	112
A6	Répartition granulométrique pour les couches minérales Couches d'étanchéité	114
A7	Profils normaux de la chaussée	115
A7.1	Structure de la couche "mélange non lié" (pour N4 et E4) et "AC Rail" (pour N1-3 et E1-3)	115
A7.2	Structure de la couche "AC Rail" (pour E1-3 et N1-3) et "Sable de gravier PSS" (pour E1-4)	116
A7.3	Structure de couche "Sable de gravier PSS" (pour E1-4) et AC Rail pour (E1-3)	117
A7.4	Profil de lit de ballast pour voie normale et voie métrique.....	119
A7.5	Détails de drainage pour les lignes existantes (voie normale)	120
A8	Drainage de la chaussée	121
A8.1	Champ d'application et généralités	121
A8.2	Choix du mode de drainage	121
A8.3	Capacité hydraulique du drainage.....	121
A8.4	Exigences relatives aux matériaux.....	121

A8.4.1	Galets de suintement	121
A8.4.2	Sable.....	121
A8.4.3	Béton pour semelles	122
A8.5	Types de drainage	122
A9	Indices de gel et profondeurs de gel pour le dimensionnement de nouvelles constructions avec une superstructure en ballast	129
A10	Infrastructure dans les tunnels : indications pour l'étude de projets de nouvelles constructions et de rénovations	130
A10.1	Fond rocheux instable à l'eau.....	130
A10.2	Déformations.....	131
A10.2.1	Déformations dues aux sources.....	131
A10.2.2	Autres déformations.....	131
A10.3	Remplissage du profil circulaire avec superstructure sans ballast	131

Traduction automatique

1 Généralités

1.1 Objectifs de la réglementation

La présente réglementation RTE contient des prescriptions relatives à l'infrastructure ferroviaire, à son drainage ainsi qu'au lit de ballast. Il contient des outils de travail pour la planification et la réalisation dans le domaine des nouvelles constructions et de l'entretien.

1.2 Application

L'art. 17 LCdF, l'OCdF et les DE-OCF constituent la base de la présente réglementation RTE. L'infrastructure ainsi que l'épaisseur du lit de ballast sont réglées dans les DE-OCF relatives à l'art. 25 et les passages sur les ouvrages dans les DE-OCF relatives à l'art. 26.

Lors de la construction, les prescriptions de l'OTConst doivent être respectées.

Le présent règlement de RTE a été élaboré en tenant compte avant tout des aspects techniques. Cependant, pour toute décision, des aspects environnementaux et des critères économiques supplémentaires doivent également être pris en compte. Les décisions relatives aux procédés, aux matériaux ou à la composition des matériaux doivent être prises en tenant compte de l'impact sur l'environnement, des exigences techniques et des critères économiques. Le principe est de choisir des solutions qui sont aussi durables que possible dans le sens d'une pesée des intérêts, qui répondent aux exigences techniques et qui sont économiques dans une perspective de cycle de vie.

La réglementation s'adresse aux spécialistes chargés des projets dans le domaine de la construction des sillons et de la superstructure de la chaussée, aux bureaux d'ingénieurs spécialisés mandatés et aux entreprises exécutantes (propres au chemin de fer ou tierces).

1.2.1 Domaine de validité

Le présent règlement RTE s'applique à l'exploitation normale en l'absence de conditions spécifiques telles que les glissements de terrain, les instabilités de digues et les sols mous sous les voies.

Les aspects de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM) ne sont pas pris en compte dans les mesures de construction décrites. La directive OFT "Mesures relatives aux infrastructures ferroviaires selon l'ordonnance sur les accidents majeurs dans le cadre d'une procédure d'approbation des plans" [2] doit être appliquée.

1.2.2 Remplacement des réglementations existantes

- R RTE 21110, 1ère édition du 30.11.2005
- R RTE 21110, 2ème édition du 01.09.2015

2 Bases

2.1 Réglementation souveraine

BFEG RS 742.101	Loi sur la construction et l'exploitation des chemins de fer (Loi sur les chemins de fer)	Situation sur 01.07.2024
OFB RS 742.141.1	Ordonnance sur la construction et l'exploitation des chemins de fer (Ordonnance sur les chemins de fer)	Situation sur 01.07.2024
DE-OCF RS 742.141.11	Dispositions d'exécution de la Ordonnance sur les chemins de fer	Situation sur 01.07.2024
StFV CS 814.012	Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (Ordonnance sur les accidents majeurs)	Situation sur 01.07.2024
VBBö RS 814.12	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols	État des lieux 12.04.2016
LEaux RS 814.20	Loi fédérale sur la protection des eaux (Loi sur la protection des eaux)	Situation sur 01.02.2023
OEaux 814.201	Ordonnance sur la protection des eaux	Situation sur 01.02.2023
BauAV RS 832.311.141	Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (Ordonnance sur les travaux de construction)	Situation sur 01.01.2024
NHG CS 451	Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage	Situation sur 01.01.2022
NHV RS 451.1	Ordonnance sur la protection de la nature et du paysage	Etat du site 01.06.2017

2.2 Normes

SN EN ISO 10318-1 SN 670092-1 (VSS)	Géosynthétiques - Partie 1 : Définitions	Édition 2015
SN EN ISO 14688-2 (VSS)	Prospection et étude géotechniques - Partie 2 : Terrains et sols Désignation, description et classification des sols - Partie 2 : Principes de base pour la classification des sols	Édition 2019
SN EN ISO 17892-11	Reconnaissance et étude géotechniques - Exi- gences et méthodes	Édition 2020

	Essais de laboratoire sur échantillons de sol, Partie 11 : Détermination de la perméabilité à l'eau	
SN 505197 SIA 197	Projet de tunnel - Bases	Édition 2023
SN 505197/1 SIA 197/1	Etude de projet tunnel - tunnel ferroviaire	Édition 2019
SN 505261 SIA 261	Actions sur les structures porteuses	Édition 2020
SN 505267 SIA 267	Géotechnique	Édition 2013
SN 508103 SIA 103	Règlement concernant les prestations et les honoraires des ingénieurs civils	Édition 2020
SN 531199 SIA 199	Saisie de la roche dans les travaux souterrains	Édition 2015
SN 531203 SIA 203	Construction de décharges	Édition 2016
SN 533190 SIA 190	Canalisations	Édition 2017
SN 564272 SIA 272	Étanchéité et drainage de constructions sous terre et souterraines	Édition 2024
SN 564281 SIA 281	Lés d'étanchéité en plastique, bitume et argile	Édition 2017
SN 588469 SIA 469	Conservation des bâtiments	Édition 1997
SN 670090 (VSS)	Géosynthétiques - Norme de base	Édition 2012
SN EN 206 SIA 262.051	Béton - Définition, caractéristiques, fabrication et conformité	Édition 2022
SN EN 932-1 SN 670901-1a (VSS)	Méthode d'essai des propriétés générales des granulats, Partie 1 : Méthode d'échantillonnage	Édition 2004
SN EN 932-3 (VSS)	Méthode d'essai des propriétés générales des granulats, Partie 3 : Réalisation et terminologie d'une description pétrographique simplifiée	Édition 2022
SN EN 933-1 SN 670902-1 (VSS)	Méthodes d'essai des propriétés géométriques des granulats Granulats, Partie 1 : Détermination de la distribution granulométrique - Méthode par tamisage	Édition 2013
SN EN 933-2 (VSS)	Méthodes d'essai des propriétés géométriques des granulats, Partie 2 : Détermination de la	Édition 2021

	distribution granulométrique - Tamis de contrôle, diamètre nominal des ouvertures de tamisage	
SN EN 933-3 SN 670902-3 (VSS)	Méthodes d'essai des propriétés géométriques des granulats, Partie 3 : Détermination de la forme des grains - Indice de planéité	Édition 2013
SN EN 933-5 (VSS)	Méthodes d'essai des propriétés géométriques des granulats, Partie 5 : Détermination du pourcentage de granulats concassés dans les gros granulats et les mélanges de granulats	Édition 2024
SN EN 1097-2 (VSS)	Méthodes d'essai pour les propriétés mécaniques et physiques propriétés des granulats, partie 2 : Méthode de détermination de la résistance à la fragmentation	Édition 2021
SN EN 1097-5 SN 670903-5b (VSS)	Méthodes d'essai pour les propriétés mécaniques et physiques propriétés des granulats, partie 5 : Détermination de la teneur en eau par séchage au four	Édition 2010
SN EN 13108-1 (VSS)	Enrobés bitumineux - Partie 1 : Bétons bitumineux Spécifications des matériaux - Partie 1 : Béton bitumineux	Édition 2022
SN EN 13108-8 (VSS)	Enrobés bitumineux - Partie 1 Spécifications des matériaux - Partie 8 : Enrobés bitumineux de finition	Édition 2019
SN EN 13242 SN 670119-NA-13242-F (VSS)	Granulats pour matériaux non liés et matériaux liés mélanges à liant hydraulique pour le génie civil construction de routes	Édition 2021
SN EN 13250 (VSS)	Géotextiles et produits apparentés aux géotextiles - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction ferroviaire	Édition 2017
SN EN 13285 (VSS)	Mélanges non liés - Exigences	Édition 2021
SN EN 13286-1 (VSS)	Mélanges non liés et mélanges liés hydrauliquement, Partie 1 : Méthodes d'essai en laboratoire pour la masse volumique à sec et la teneur en eau - Introduction, exigences générales et échantillonnage	Édition 2022
SN EN 13286-2 SN 670330-2 (VSS)	Mélanges non liés et mélanges liés hydrauliquement, Partie 2 : Méthode d'essai en laboratoire pour la détermination de la masse volumique sèche de référence et de la teneur en eau - Essai Proctor	Édition 2015
SN EN 13286-47 (VSS)	Mélanges non liés et mélanges liés hydrauliquement, Partie 47 : Méthodes d'essai pour la	Édition 2022

	détermination du rapport de charge californien (CBR), de l'indice de portance direct (IBI) et du seuil linéaire	
SN EN 13450 SN 670110 (VSS)	Granulats pour ballast de voie ferrée	Édition 2004
SN EN 15382 (VSS)	Geosynthetic barriers - Characteristics required for use in transportation infrastructure (Géomembranes synthétiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les infrastructures de transport)	Édition 2020
SNR CEN/TR 15019 SNR 670245-NA (VSS)	Exigences relatives aux géotextiles et aux produits apparentés - Contrôle de chantier	Édition 2012
VSS 40525	Propriétés de la surface de la route - Exigences	Édition 2019
VSS 40575	Terrassement - Classes d'extraction et recommandations	Édition 2022
VSS 40585	Compactage et portance - Exigences	Édition 2020
VSS 40302b	Route et voie ferrée - Terminologie	Édition 2019
VSS 40350	Drainage de surface des routes - Intensités de pluie	Édition 2019
VSS 40353	Drainage des routes - Bases pour la détermination du débit	Édition 2019
VSS 40430	Asphalte roulé - Conception, réalisation et Exigences relatives aux couches mises en place	Édition 2022
VSS 40744	Surfaces de circulation avec une superstructure non liée - Exécution et entretien	Édition 2019
VSS 70009a	Prospection et étude géotechniques - Terminologie géologique des Roches meubles	Édition 2019
VSS 70115	Granulats - Qualitatifs et quantitatifs Minéralogie et pétrographie	Édition 2019
VSS 70119	Mélanges non agglomérés - Exigences techniques de livraison	Édition 2021
VSS 70125	Filtres minéraux et matériaux filtrants - Conception et exigences	Édition 2022

VSS 70140b	Gel	Édition 2019
VSS 70241	Géotextiles - Exigences pour les fonctions Séparation et filtration	Édition 2019
VSS 70242	Géosynthétiques - Exigences fonctionnelles Armature	Édition 2019
VSS 70243	Géosynthétiques - Exigences pour les fonctions de protection et de drainage	Édition 2022
VSS 71260	Traversées souterraines et parallèles de lignes avec des voies ferrées (Remarque : les DE-OCF, édition 01.07.2024, font référence à cette norme. Selon l'OFT, rien ne s'oppose à la poursuite de l'utilisation de la norme pendant quelques années).	Édition 2019 valable jusqu'au 18.09.2024
VSS 70311	Compactage et portance - Méthodes de contrôle	Édition 2019
VSS 70313	Sols ; appareil à poids léger tombant et essai dynamique de compression de plaque	Édition 2019
VSS 70316a	Essais sur les sols - Pénétromètre CBR, essai sur le terrain	Édition 2019
VSS 70317	Sols - Essai de compression de plaque E_v et M_E	Édition 2019
VSS 70321	Non-liés et liés hydrauliquement Mélanges - Essai de soulèvement par le gel	Édition 2019
VSS 70362	Propriétés des surfaces de la chaussée ; Mesures de déflexion - Barre de Benkelman	Édition 2019
VSS 70830a	Matériaux de construction minéraux - Essai de fragmentation	Édition 2019

2.3 Règlements de RTE et règlements des chemins de fer

R RTE 20012	Profil d'espace libre Voie normale	4e édition 28.02.2022
R RTE 20100	Sécurité lors de travaux sur les voies	7e édition 30.11.2023
R RTE 20512	Profil d'espace libre de la voie métrique	2ème édition 28.08.2023
R RTE 22041	Voies et aiguillages sans lacune et chargés - Voie normale	2ème édition 07.05.2019

R RTE 22541	Voies soudées sans espace (LVG), aiguillages soudés sans espace et voies chargées voie métrique	2ème édition 13.03.2024
D RTE 27900	Manuel de retour et de mise à la terre - Documentation	2ème édition 01.07.2014
CFF I-22211	Utilisation du matériau de superstructure lors du renouvellement et de la construction de voies ferrées et d'aiguillages	Édition 01.09.2014

Traduction automatique

2.4 Directives et fiches d'information

[1] (RL OFT/OFEV)	Directive - Drainage des installations ferroviaires	Édition 2018
[2] (RL OFT)	Directive - Mesures pour les infrastructures ferroviaires selon l'ordonnance sur les accidents majeurs dans le cadre d'une procédure d'approbation des plans	Édition 2019
[3] (RL VSA)	Directive - Gestion des eaux usées par temps de pluie	Édition 2019
[4] (CL OFT/OFEV)	Liste de contrôle Environnement pour les installations ferroviaires	Édition 2022
[5] (RL OFT)	Directive sur l'excavation des voies ferrées	Édition 2023

Traduction automatique

3 Abréviations et termes

3.1 Abréviations

DE-OCF	Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer
OFT	Office fédéral des transports
d	déflexion élastique
EBV	Ordonnance sur les chemins de fer
E_{vd}	module de déformation dynamique
EN	Norme européenne
LEaux	Loi sur la protection des eaux
LCC	Coût du cycle de vie (life-cycle-cost)
LFG	poids de chute léger
M_{E1}	module de déformation statique
RC-I ou RC-II	Gravats recyclés de classe I ou II
SN	Norme suisse

3.2 Termes

Aux fins de l'application du présent règlement, on entend par

Banquet	L'accotement constitue la fermeture latérale de la chaussée. Elle peut assumer différentes fonctions, telles que voie de service, voie d'évacuation, surface de stationnement, frein à la croissance, etc.
Installation de traitement	Installation naturelle ou technique pour les eaux usées ferroviaires, placée en amont de l'infiltration ou du déversement et destinée en premier lieu à obtenir un effet d'épuration.
Couche barrière bitumineuse	Couche étanche en asphalte. Dans la construction ferroviaire, AC Rail 16 ou 22 est utilisé.
Système de drainage	Système permettant d'infiltrer les eaux usées ferroviaires dans le sous-sol ou de les évacuer dans une eau de surface ou dans les égouts publics.
Chaussée	Corps de la voie ferrée sur lequel une traversée ferroviaire a une influence. La chaussée comprend la superstructure et l'infrastructure avec le drainage de la chaussée jusqu'à l'évacuation des eaux.
Voie de circulation	La voie ferrée comprend toutes les parties de l'installation nécessaires à l'exploitation du chemin de fer.

Stabilité du filtre	<p>La stabilité de filtration se compose des deux fonctions "séparation" et "filtration" entre deux matériaux adjacents.</p> <p>"Filtrer" : limiter le lessivage des matériaux fins lors du passage de l'eau de la couche de sol à grains fins vers la couche de sol à grains grossiers, tout en garantissant un passage de l'eau avec le moins de pression possible.</p> <p>"Séparation" : empêcher le mélange de couches ayant des répartitions granulométriques différentes à la suite de charges dynamiques.</p>
Géotextiles	Géotextile fabriqué par l'entrecroisement, généralement à angle droit, de deux ou plusieurs systèmes de fils, fibres, filaments, rubans ou autres éléments. Utilisé en premier lieu dans la construction ferroviaire pour la fonction "filtration" (tissu filtrant) ou temporairement pour les fonctions "séparation" et "renforcement" (tissu à bandes).
Géosynthétiques	Terme générique pour géotextile, géotextile non tissé, géogrille, géotissu, etc. Structures polymères, généralement planes, utilisées dans des applications géotechniques et de construction. Ils peuvent remplir les fonctions de "séparation", de "filtration", de "drainage", d'"armature", de "protection", d'"étanchéité" et autres.
Géogrille	Grille plate régulière avec des éléments longitudinaux et transversaux solidement reliés, dont les ouvertures sont plus grandes que les fils ou les entretoises. L'assemblage se fait par exemple par extrusion, tissage, tricotage en chaîne ou soudage. Dans la construction ferroviaire, principalement pour la fonction "armature".
Géotextile	Terme générique désignant entre autres les géotextiles non tissés et les géotextiles tissés. Structure textile perméable à l'eau et à l'air, utilisée dans les domaines de la géotechnique et de la construction.
Géotextile non tissé	Géotextile fabriqué à partir d'une couche de fibres ou de filaments alignés ou entremêlés par aiguilletage et/ou consolidation thermique ou adhésive. Utilisé principalement dans la construction ferroviaire pour les fonctions de "séparation" (non-tissé de séparation) et de "protection" (non-tissé de protection).
Épaisseur totale de la Revêtement de la voie	L'épaisseur totale de l'assise de la voie se compose de l'épaisseur du ballast et de l'épaisseur de la couche de transition au-dessus de l'infrastructure rigide.
Tonnes brutes [Bt]	Somme des poids des trains, y compris leurs charges, qui circulent sur une voie.
mélange non lié	Mélange non lié selon VSS 70119. Matériau granulaire composé de granulats naturels avec une répartition granulométrique définie, utilisé comme seule couche de fondation (si l'environnement le permet) ou comme couche de fondation sous une couche de barrage en sous-œuvre. Un mélange non lié ne contient pas de liant.
Sable à graviers PSS	Mélange non lié composé de granulats naturels avec une répartition granulométrique définie et utilisé comme couche de barrage et de fondation dans l'infrastructure pour l'entretien des lignes ferroviaires existantes.

Barrière minérale	Couche de barrage posée directement sur la couche de fondation, laminée de manière stable et badigeonnée. Elle est constituée de sable graveleux naturel concassé ou de marne calcaire 0/16 mm, conformément à la norme VSS 40744. Elle est soit liée à l'argile et à l'eau, soit liée à la chaux et à l'eau et présente une répartition granulométrique bien échelonnée.
Mélange de gravier RC	Mélange non lié selon VSS 70119. Matériau granulaire composé de granulats recyclés avec une répartition granulométrique définie, utilisé comme seule couche de fondation (si l'environnement le permet) ou comme couche de fondation sous une couche de barrage en sous-couche. Un mélange non lié ne contient pas de liant.
Gravier RC	Dans le présent règlement RTE, le terme de ballast RC désigne le ballast de voie RC. Il s'agit de ballast usagé préparé (tamisé, lavé et contrôlé).
Système de rétention	Installation naturelle ou technique pour les eaux usées ferroviaires, placée en amont du déversement ou de l'infiltration et dont le but premier est d'obtenir une réduction temporaire de l'écoulement. Dans des cas particuliers, elle peut également être nécessaire pour recueillir des liquides d'avarie.
Sur rail Transformation	Entretien de la chaussée avec des engins de chantier capables de circuler sur des rails.
Gravier	Dans le présent document, le terme de ballast désigne le ballast de voie selon les normes SN EN 13450 et SN 70110.
Lit de gravier-épais (DE-OCF sur l'art. 25, BO 25, ch. 3.2)	L'épaisseur du ballast est définie comme la distance verticale entre le bord inférieur de la traverse et la surface sous le rail situé plus bas. Pour les traverses en acier, il convient d'utiliser une hauteur de traverse fictive de 15 cm.
base rigide	Par infrastructure rigide, on entend par exemple une roche solide insensible aux intempéries ou des couches de béton sous le lit de ballast.
construction de routes Transformation	Construction ou entretien de la chaussée avec des engins de chantier habituels dans la construction routière. Cette procédure s'applique lorsque le chantier n'est pas limité par l'exploitation ferroviaire.
Capacité de charge	Dans le présent règlement RTE, le terme de capacité portante désigne le comportement porteur déterminé d'un échantillon de laboratoire ou d'une section de sol à l'aide d'essais CBR (California Bearing Ratio).
Déformabilité	Les notions de déformabilité et de module de déformation désignent le comportement en déformation des systèmes porteurs géotechniques des chemins de fer. Les valeurs caractéristiques sont le module de déformation M_{E1} ou (sur les couches d'étanchéité bitumineuses) la déflection élastique. L'utilisation de la notion de déformabilité au lieu de la notion de portance utilisée jusqu'à présent dans la construction de voies de communication vise à tenir compte du fait que la notion de portance (selon les normes actuelles sur les structures porteuses) décrit l'état limite ultime, tandis que la notion

	de déformabilité appartient à l'état limite de service. En revanche, cela ne change rien au contexte présumé selon lequel, dans le cas d'une voie de communication qualifiée de porteuse, les déformations survenant sous l'effet des charges de trafic restent limitées à des valeurs inoffensives.
Imperméabilité à l'eau de Couches de fondation [m/s]	<p>Pour protéger la couche de fondation et pour des raisons environnementales, il faut en règle générale poser une couche de barrage aussi étanche que possible. L'objectif d'une couche de barrage étanche est d'évacuer latéralement les eaux de pluie. Perméabilité à l'eau typique selon Darcy :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sable à graviers PSS $k \leq 10^{-6}$ m/s - AC Rail $k < 10^{-9}$ m/s <p>couches d'étanchéité minérales $k < 10^{-7}$ m/s</p>

Traduction automatique

4 Principes

4.1 Activités de construction

(en référence à la norme SN 588469)

4.1.1 Nouvelle construction

On entend par nouvelle construction la construction de l'ensemble de la chaussée du projet sur une surface utilisée auparavant à d'autres fins, à l'exclusion des raccordements à l'existant. En cas de modification importante du tracé, cela concerne en général la zone située en dehors de l'accotement existant.

4.1.2 Conservation

Par conservation, on entend l'ensemble des activités et des mesures visant à garantir l'existence ainsi que les valeurs matérielles et culturelles de la chaussée. En s'appuyant sur la norme SN 588469, les distinctions suivantes sont faites :

- Rénovation
Remise d'un ouvrage ou de parties d'un ouvrage dans un état comparable à la construction neuve initiale, sans adaptation importante des parties de l'installation. Un renouvellement de la superstructure comprend par exemple le remplacement des rails et des traverses du même type. Un renouvellement de l'infrastructure comprend par exemple le remplacement de la couche de fondation ou de la couche d'arrêt et le renouvellement du drainage.
- Adaptation
Adaptation de l'ouvrage à de nouvelles exigences, sans intervention importante sur l'ouvrage. Une adaptation comprend par exemple un changement de profil de rail ou le passage de traverses en bois ou en acier à des traverses en béton.
- Transformation
Adaptation de l'ouvrage à de nouvelles exigences, avec des interventions importantes dans l'ouvrage. Une transformation comprend par exemple l'amélioration de l'infrastructure, la construction d'un nouveau système de drainage et le passage à des traverses en béton.
- Extension
Adaptation de l'ouvrage à de nouvelles exigences par l'ajout de nouveaux éléments de construction. Un élargissement comprend par exemple l'installation ultérieure d'aiguillages ainsi que l'installation ou l'élargissement d'infrastructures rigides.

4.2 Structure de la voie ferrée

Les notions de couches et de surfaces dans la construction ferroviaire sont définies dans la norme VSS 40302b.

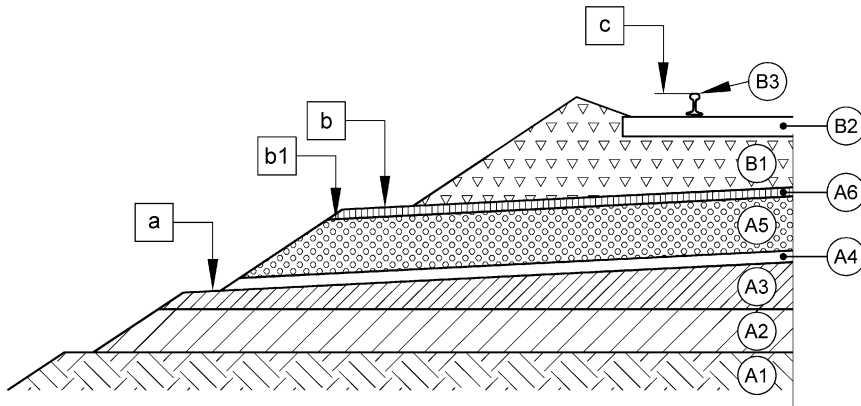


Illustration -41 : Coupe transversale schématique avec désignations

	Couches	Surfaces	Exemples de matériaux courants	
B Superstructure		<div>C</div> <div>Niveau de conduite (SOK)</div> <div></div>		
	B3 Rail		<div>- Acier pour rails</div>	
	B2 Seuil		<div>- Béton</div> <div>- Acier</div> <div>- Bois</div>	
	B1 Gravier	<div>b</div> <div>Planie</div> <div></div>	<div>- roche dure concassée</div>	
A Sous-construction et sous-sol	A6 Couche de barrage	<div>b1</div> <div>Planification de la de fondation e de fondatio</div> <div></div>	<div>- couche barrière bitumineuse (+ granulats d'asphalte en option)</div> <div>- Minéral Couche barrière</div>	<div>- Sable à graviers PSS</div>
	A5 Couche de fondation		<div>- non lié Mélange (GW ou GP)</div>	
	A4 Couche de transition Couche de drainage ^{a)}	<div>a</div> <div>Planum</div> <div></div>	<div>- Gravier</div> <div>- Gravillons</div> <div>- Gravats concassés</div> <div>- Sable</div> <div>- Géosynthétique</div>	
	A3 amélioré Sous-sol		<div>- sous-sol compacté</div> <div>- Stabilisation</div> <div>- Matériaux de remplacement</div>	
	A2 Digue		<div>- matériaux en vrac compactés</div>	
	A1 Sous-sol		<div>- Terrain à bâtir</div>	

a) au-dessus d'une roche fissurée et sensible aux intempéries

Tableau -42 : Désignations et exemples.

4.3 Principales fonctions des équipes

Selon les conditions locales, certaines des couches décrites au paragraphe 4.2 ne sont pas nécessaires ou des couches supplémentaires doivent être mises en place.

Les rails et les traverses forment ensemble la grille de la voie. Le rail est l'élément porteur et d'usure primaire, tandis que la traverse a avant tout une fonction de répartition de la charge.

Le **ballast**, mis en place dans la forme géométrique prescrite, forme le lit de ballast. Il garantit le support élastique de la grille de la voie et permet de corriger la position de la voie lors de l'entretien. La forme géométrique prescrite du lit de ballast empêche les instabilités de la grille de voie dues à la charge du trafic et aux influences de la température.

La **couche d'arrêt** empêche l'eau de pénétrer dans l'infrastructure et le sous-sol, limite la croissance des plantes, protège la nappe phréatique et réduit les effets d'un accident ou d'un incident (p. ex. marée noire). Elle dirige l'eau de surface de la zone de charge vers le côté de la voie où elle doit être infiltrée ou évacuée de manière contrôlée.

La **couche de fondation** a une fonction de répartition de la charge. Elle réduit la sollicitation résultant de la charge de trafic aux valeurs admissibles pour les couches sous-jacentes. Elle protège le sous-sol contre les effets néfastes du gel.

Une couche de **sable de gravier PSS** constitue une couche **multifonctionnelle**. Elle constitue une combinaison de couche de barrage et de couche de fondation. Elle est mise en place en cas d'entretien et suite à des restrictions d'exploitation lorsqu'une couche de barrage est nécessaire, en remplacement des couches d'étanchéité décrites ci-dessus.

La **couche de transition** a deux fonctions différentes :

1. Elle empêche le mélange de la couche de fondation et de la couche sous-jacente et garantit un écoulement de l'eau sans pression.
2. Elle réduit les effets d'une infrastructure rigide (ponts, cuves d'eau souterraine, tunnels, etc.) sur le lit de ballast.

La **couche de drainage** permet d'évacuer sans pression l'eau des roches aquifères et sensibles aux intempéries.

Support amélioré : si la valeur de la déformabilité est insuffisante, le matériau en place doit être amélioré ou remplacé.

La **digue** est remblayée pour compenser le profil en long ou pour améliorer la situation hydrologique.

4.4 Spectre de sollicitation de l'infrastructure

L'infrastructure est principalement sollicitée par les intempéries et la charge de trafic. L'infrastructure des lignes ferroviaires existantes n'a pas été conçue pour supporter la charge de trafic actuelle. La combinaison des contraintes dues aux intempéries et à la charge du trafic entraîne dans de nombreux cas des dommages à l'infrastructure avec des conséquences sur la stabilité de la voie.

Un changement d'utilisation (p. ex. +10% d'augmentation de la vitesse ou de la charge par essieu) influence l'aptitude à l'emploi. De même, une augmentation de la charge sans modification de la charge par essieu peut entraîner un vieillissement plus rapide tout en assurant suffisamment les différentes fonctions.

L'eau dans les matériaux de fondation à grain fin provoque rapidement des dommages importants en cas de charge de trafic dynamique. La construction, la surveillance et l'entretien minutieux de systèmes de drainage efficaces revêtent donc une importance capitale.

La durée d'utilisation de l'infrastructure doit être adaptée à celle de la superstructure. La durée d'utilisation doit correspondre au moins au double de la durée d'utilisation du matériau de la superstructure. Lors de la décision d'investissement, la durée d'utilisation résiduelle de l'infrastructure doit être comparée à la rénovation ou à la transformation de l'infrastructure.

4.5 Répartition des voies et prévision de la charge

Pour le dimensionnement de l'infrastructure, les voies sont en groupes de charge de voie. Les voies industrielles et les voies de raccordement (voies principales, voies de raccordement et voies de chargement) sont traitées comme N4 ou E4.

Étant donné qu'une infrastructure conforme aux prescriptions présente une durée d'utilisation nettement plus longue que la superstructure, il convient de tenir compte des intentions d'utilisation future (charge et vitesse d'aménagement) lors de la classification dans le groupe de charge de la voie. La charge en tonnes brutes par jour [Bt/d] doit être déterminée sur la base d'une prévision de trafic.

Groupes de charge de la voie Nouvelle construction (N) ou Entretien (E)		
Désignation	charge future	vitesse future
N1 / E1	> 30'000 Bt/d	ou ≥ 160 km/h
N2 / E2	15'000 - 30'000 Bt/d	ou ≥ 80 km/h
N3 / E3	5'000 - 15'000 Bt/d	
N4 / E4	< 5'000 Bt/d	

Tableau -43 : Définition des groupes de charge de la voie.

La répartition en groupes de charge de la voie sert à dimensionner l'infrastructure ainsi que le lit de ballast.

5 Infrastructure pour les nouvelles constructions

5.1 Généralités

Les sections 5.2 à 5.11 s'appliquent aux nouvelles constructions selon la section 4.1 avec une superstructure sur ballast. L'infrastructure en cas de chaussée fixe, p. ex. dans les tunnels, est régie au paragraphe 5.12. La sous-construction en cas d'entretien est régie par le chapitre 5. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Le **profil normal** doit être construit individuellement par l'auteur du projet sur la base de l'annexe A7A7 et de l'annexe A8A8, en fonction des conditions locales et en tenant compte des autres installations fixes. En cas d'aménagement sur une double voie, la qualité de l'infrastructure et du drainage dans la voie existante doit être adaptée aux conditions de la nouvelle construction adjacente.

Avant le début des travaux, il convient de procéder à **des études géotechniques** qui doivent fournir des informations sur les types de sol et les propriétés déterminantes. Dans le cas d'un sous-sol meuble à l'air libre, il faut notamment clarifier la sensibilité à l'eau, la stabilité au gel et au filtrage, la déformabilité, la sensibilité au tassement, la perméabilité à l'eau, la position et la plage de variation de la nappe phréatique ainsi que les possibilités d'infiltration. Les terrains meubles doivent être classés selon la norme SN EN ISO 14688.

Pour la terminologie géologique des terrains meubles, la norme VSS 70009a s'applique. Dans les roches solides, il faut procéder de manière analogue à la SN 531199, en examinant notamment le potentiel de gonflement en vue d'éventuels soulèvements de la plate-forme, les conditions hydriques ainsi que la sensibilité à l'eau des couches dans la zone de la plate-forme.

Le traitement des **eaux usées de la voie ferrée** doit satisfaire aux exigences de la LEaux, de l'OEaux et de la directive OFT/OFEV [1].

Pour les nouvelles constructions, la couche de fondation (couche de barrage) doit être étanche, conformément au principe de précaution de la LEaux. En outre, le système de drainage doit répondre aux exigences de la protection des eaux (eaux souterraines et eaux de surface).

De toutes ces exigences découlent des systèmes de couches dépendant des sollicitations. Toute dérogation à ces règles (p. ex. en cas de conditions géotechniques particulières) doit être clarifiée avec le service spécialisé compétent. A cet égard, il convient également d'observer les DE-OCF relatives à l'art. 25, CG 25, ch. 4.3.11 et 4.3.12.

5.2 Déformabilité

5.2.1 Valeurs limites

Afin d'éviter des dépenses accrues pour l'entretien de la voie et des mesures de renouvellement prématurées de la voie, la rigidité de l'infrastructure doit être choisie de manière à ce que la sollicitation de la superstructure se situe dans la plage admissible. Tableau - :51 contient donc des valeurs limites à respecter pour la déformabilité minimale et maximale de la planie de la couche de fondation, qui doivent être prises en compte pour le dimensionnement de l'infrastructure. Les exigences sont conçues pour l'exploitation. Elles sont déjà plus élevées en raison des véhicules de chantier lourds, à l'exception de la couche de fondation pour les groupes de charge de la voie N1/N2. Pour l'exploitation, une déformabilité maximale de $M_{E1} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ serait également suffisante pour N1/N2.

Il faut veiller à ce que l'infrastructure soit homogène et régulière, aussi bien dans le sens longitudinal que dans le sens transversal de la voie.

Il ne doit pas y avoir de différences de déformation, en particulier transversalement à l'axe de la voie. Les différences de rigidité de l'infrastructure entre les points d'appui des rails sous les traverses ne sont pas autorisées.

Comme pour la construction routière, le module de déformation M_{E1} à la première sollicitation selon VSS 70317 ou, sur les couches d'arrêt bitumineuses, la déflexion élastique d selon VSS 70362 sert de grandeur d'évaluation pour la déformabilité. Pour les exigences en matière de régularité ainsi que pour les méthodes de contrôle possibles, les normes VSS 40585 et VSS 70311 s'appliquent par analogie. Pour les couches d'arrêt bitumineuses, ce n'est pas la déformabilité qui est au premier plan, mais l'imperméabilité à l'eau. C'est pourquoi d'autres méthodes se sont imposées pour le contrôle de la mise en œuvre (voir le paragraphe 9.3.3).

Le respect des exigences relatives à la déformabilité sur la surface de la couche de fondation doit être démontré juste avant la mise en place de la couche d'arrêt. Tableau - :51 ne sont pas respectées, la sollicitation admissible de la superstructure est dépassée, ce qui entraîne un vieillissement plus rapide des éléments porteurs.

Voie ferrée- groupe de charge (conformé- ment à Section) 4.5	sur planie				sur plate- forme
	maximum Déformabilité		minimum Déformabilité		déformabi- lité max.
	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]
N1 / N2	60 ^{a)}	140 ^{b)}	150 ^{a) c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
N3	40 ^{d)}	170 ^{b)}	150 ^{c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
N4	15 ^{d)}		150 ^{c)}		15 ^{d)}

a) Sur la planie de la couche de fondation sous la couche de barrage et d'égalisation.

b) Uniquement à titre indicatif, car la fonction première de la couche barrière est l'imperméabilité à l'eau et la déflexion d ne donne aucune information à ce sujet.

Pertinent uniquement si une couche barrière bitumineuse est mise en place (cf. Tableau -52).

c) L'expérience montre que des sollicitations importantes du lit de ballast ne peuvent pas être exclues même avec des modules de déformation $M_{E1} > 120 \text{ MN/m}^2$. La valeur limite de déformabilité ($M_{E1} = 150 \text{ MN/m}^2$) n'a pas été augmentée pour des raisons techniques de construction.

d) La valeur doit être augmentée au cas par cas, en fonction de l'opération de construction prévue (p. ex. à au moins 40 - 60 MN/m² si la planie de la couche de fondation ou la planie doit être parcourue par des véhicules pneumatiques).

Tableau - :51 Valeurs limites de déformabilité de l'infrastructure pour les nouvelles constructions (exigences pour l'état de service).

5.2.1.1 Procédure pour démontrer des valeurs suffisantes de déformabilité

L'évaluation du comportement à la déformation s'effectue en principe de manière traditionnelle avec l'essai de compression sur plaque en déterminant le module de déformation M_{E1} sur la couche à tester. Comme l'essai de compression de plaque est coûteux, il peut être utile d'utiliser des essais alternatifs en complément. Grâce à la rapidité d'exécution et à la disponibilité immédiate des résultats de mesure, la détermination du module de déformation dynamique E_{vd} à l'aide de l'appareil à poids tombant léger (LFG) s'impose. Ainsi, les valeurs M_{E1} à déterminer obligatoirement peuvent être complétées par des valeurs E_{vd} . Cela permet d'obtenir un réseau de mesure plus dense et de mieux contrôler l'homogénéité de la couche.

En raison des différents effets physiques, il n'existe pas de corrélation générale entre le module de déformation statique M_{E1} et le module de déformation dynamique E_{vd} . C'est pourquoi la valeur E_{vd} déterminée à l'aide du LFG ne peut être utilisée comme base de contrôle et d'évaluation que dans des conditions restrictives et après calibrage des valeurs E_{vd} (sur la base de mesures M_{E1} effectuées sur la même surface d'essai). Les valeurs équivalentes M_{E1} estimées conformément aux conditions mentionnées ci-dessous doivent toujours être indiquées comme grandeurs d'évaluation sur la base des valeurs E_{vd} déterminées.

De manière générale, les valeurs mesurées pour le module de déformation M_{E1} lors de la première sollicitation et le module de déformation dynamique E_{vd} doivent toujours être évaluées en relation avec le support existant ainsi qu'avec les conditions de température et d'eau qui prévalaient au moment de la mesure.

Pour l'évaluation de la déformabilité au moyen de valeurs de mesure E_{vd} , on suppose que lors de la mesure

- la température de l'air est d'au moins 0 °C
- le sol n'est pas gelé, n'est pas fortement humidifié et n'est pas détrempé,
- la structure stratifiée est ouverte jusqu'à environ 0,40 m en dessous du niveau de la mesure et est classée selon la mécanique des sols, et
- aussi bien la classification que la description du sous-sol ainsi que les autres conditions soient documentées avec les valeurs mesurées, puis évaluées et interprétées par un spécialiste.

La norme VSS 70313 s'applique au domaine d'application, à l'appareil, aux conditions d'essai, à la réalisation de l'essai et au protocole d'essai relatif à la LA.

En ce qui concerne les conditions d'essai, il faut veiller à ce que la surface d'essai sous le LFG ne soit pas inclinée de plus de 6 % (longitudinalement et transversalement) et à ce que la barre de guidage soit verticale. Le LFG convient pour des mesures sur des sols à gros grains (sableux et graveleux), sur des sols à grains fins rigides à durs ainsi que sur des sols à grains mixtes.

L'expérience montre que le LFG fournit des valeurs de mesure utilisables pour une plage de mesure de E_{vd} = env. 10 - 70 MN/m². Dans la plage de mesure de E_{vd} < 10 MN/m², il n'est plus possible d'obtenir des valeurs de mesure fiables pour différentes raisons (entre autres, couches à gros grains trop peu épaisses), raison pour laquelle d'autres méthodes d'essai (par ex. CBR) sont généralement utilisées pour estimer une valeur M_{E1} équivalente. Même dans la plage de mesure de E_{vd} > 70 MN/m², la fiabilité du LFG diminue fortement en raison du faible poids de chute. Si le LFG est malgré tout utilisé dans cette plage de mesure, les valeurs de mesure E_{vd} doivent être étalonnées à l'aide de mesures

M_{E1} voisines avec la plaque de charge statique, ce qui peut nécessiter de densifier le réseau de mesure des essais statiques.

Le California Bearing Ratio (CBR ; essai sur le terrain selon VSS 70316a) peut être réalisé comme base pour le dimensionnement de l'infrastructure sur un sol à grains fins.

5.2.1.2 Preuve de la déformabilité

La réalisation de mesures M_{E1} est obligatoire pour les études géotechniques (évaluation des conditions existantes du sol de fondation) et pour les contrôles de mise en place dans le cadre de projets de construction neuve, car les conditions correspondantes sont généralement réunies dans le cas d'une construction neuve (il n'y a surtout pratiquement pas de restrictions liées à l'exploitation ferroviaire).

Les prescriptions relatives à la mise en place et au contrôle des couches de mélange non lié figurent au point 9.3.3.4.

Vérification de la déformabilité sur la planie de la couche de fondation :

Si, dans le cadre de projets de construction neuve, le LFG est utilisé conformément aux règles énoncées au paragraphe 5.2.1.1, en complément de l'essai de pression statique à la plaque, ce qui est généralement possible sur un matériau à gros grains d'au moins 40 cm d'épaisseur (couche de fondation en mélange non lié selon Tableau -52 sur sol à gros grains), il convient d'effectuer 5 mesures par point de mesure sur la planie, disposées comme suit : une mesure dans chaque angle ainsi qu'au centre d'un carré de 1 m de côté. Si l'une des valeurs mesurées s'écarte de plus de 20 % de la moyenne des cinq valeurs, elle est supprimée et n'est plus prise en compte.

Vérification de la déformabilité du support :

Pour que le LFG puisse être utilisé comme base pour le dimensionnement de l'infrastructure, en complément de l'essai de compression statique des plaques sur le support, les conditions énumérées au paragraphe 5.2.1.1 doivent être remplies.

Pour les mesures au moyen du LFG, les fréquences minimales d'essai suivantes s'appliquent, une mise à l'échelle devant être effectuée au moyen d'un essai de pression statique sur plaque : pour la voie normale, des mesures individuelles doivent être effectuées tous les 5 m environ à gauche et à droite de l'axe de la voie, pour la voie métrique, des mesures individuelles doivent être effectuées tous les 0,5 m environ à gauche et à droite de l'axe de la voie.

5.2.2 Dimensionnement de l'infrastructure en fonction de la déformabilité

Le Tableau -52 contient les épaisseurs minimales de la couche de fondation et de la couche d'arrêt. En raison des tolérances de construction, l'épaisseur minimale de la couche de fondation ne doit pas être inférieure à 25 cm pour les groupes de charge de la voie N1, N2 et N3. Pour N4, une épaisseur minimale de 20 cm peut être suffisante en raison des faibles exigences sur la couche de fondation.

Pour le groupe de charge de voie N1, une couche barrière bitumineuse doit être posée sur la couche de fondation. Pour les groupes de charge de voie N2 et N3, une couche de barrage minérale peut suffire. Pour N4, une couche de barrage minérale est éventuellement nécessaire pour des raisons de protection des eaux.

Demeurent réservés le dimensionnement relatif à la résistance au gel selon le paragraphe 5.3 et les éventuelles mesures de protection des eaux (paragraphe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ou annexe A8).A8

Les qualités de matériaux requises figurent au chapitre □.

Groupe de charge de la voie	Planum		Structure Sous-structure	
	$M_{E1}^{a)}$ min. [MN/m ²]	CBR ^{b)} min. [%]	Épais [cm]	Matériau
N1	15...30	7...15	7 3 40	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
	> 30	> 15	7 3 25	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
N2	15...30	7...15	7 3 40	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
			5 40	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
	> 30	> 15	7 3 25	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
			5 25	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
N3	≥ 15	≥ 7	7 3 25	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
			5 25	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
N4	≥ 15	≥ 7	5 20	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
			25	F : mélange non lié ^{d)}

a) Si la valeur M_{E1} sur la plate-forme est inférieure à 15 MN/m², des mesures doivent être prises pour réduire la déformabilité de la plate-forme selon les règles de la construction routière. Une couche de fondation en gravier résistant au gel et bien perméable à l'eau d'au moins 0,25 m est toujours nécessaire sous la couche d'arrêt pour les groupes de charge de la voie N1, N2 et N3 (GW ou GP selon SN EN ISO 14688).

b) California Bearing Ratio CBR selon SN EN 13286-47.

c) L'épaisseur maximale de la couche d'arrêt bitumineuse est de 0,10 m. En cas d'utilisation comme étanchéité bitumineuse, l'épaisseur minimale est de 0,07 m conformément à la norme SN 531203.

d) La mise en place d'une couche de fondation sans couche d'arrêt doit toujours être vérifiée quant à son admissibilité au regard de la législation environnementale.

Tableau -52 : Epaisseurs minimales de la couche de fondation (F) et de la couche barrière (S).

5.2.3 Couches d'étanchéité et de fondation

5.2.3.1 Couche barrière bitumineuse et minérale

Les propriétés de la couche d'arrêt bitumineuse selon le paragraphe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sont adaptées à l'exploitation ferroviaire. La couche est constituée d'AC Rail 16 ou 22 et présente une épaisseur d'au moins 7 cm et d'au plus 10 cm.

Les propriétés de la couche de barrage minérale selon le paragraphe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** proviennent à l'origine de la construction de chemins forestiers. Avant l'exécution des travaux, il est recommandé de procéder à un essai de mise en œuvre afin d'optimiser la teneur en eau, la praticabilité et la compressibilité.

La couche de barrage doit être débarrassée des pierres concassées isolées afin d'éviter qu'elles ne s'enfoncent. Si des véhicules de transport doivent circuler sur la couche d'arrêt bitumineuse pendant l'exécution des travaux, par exemple pour mettre en place le ballast, il faut tenir compte de la sollicitation de manière appropriée. Afin d'éviter l'orniérage, il convient de ne circuler sur la couche d'arrêt bitumineuse qu'aux heures creuses de la journée ou la nuit, ou de la refroidir à l'eau lorsque la température de l'air est élevée. La circulation sur la couche de barrage minérale n'est autorisée qu'après son durcissement complet. En dérogation à la norme VSS 40744, un durcissement suffisant est déjà atteint en l'espace de 3 jours à 3 semaines (en fonction de l'exposition et des conditions météorologiques).

L'épaisseur de couche déterminée doit être maintenue sur toute la largeur de pose et recouverte d'un matériau perméable à l'eau afin d'éviter un vieillissement prématuré ou une fragilisation de la couche d'arrêt.

Il s'est avéré judicieux de poser une couche d'égalesation d'environ 3 cm en granulés d'asphalte bitumineux 0/16 mm entre le mélange non lié et la couche barrière bitumineuse (voir SN EN 13108-8). Celle-ci augmente l'épaisseur efficace de la couche de barrage bitumineuse et améliore l'élasticité de l'infrastructure. Il faut s'assurer que le granulat bitumineux ne contient pas de substances dangereuses pour l'environnement.

5.2.3.2 Couche de fondation en mélange non lié

Comme couche de fondation, on utilise des mélanges non liés 0/22 ou 0/45 ou des mélanges de gravier RC correspondants selon VSS 70119. Les propriétés des mélanges non liés selon le paragraphe 8.3 proviennent de la construction routière. La nécessité et la mise en place d'un géosynthétique avec fonction de séparation sont régies par la norme VSS 70125 ou VSS 70241.

Si la stabilité du filtre par rapport au sous-sol est suffisante et si la législation environnementale le permet, il est possible de renoncer à la couche d'arrêt sur la fondation en mélange non lié. Sur la roche non altérée, l'épaisseur de la couche peut être réduite à 20 cm.

5.2.4 Couche de transition sur une infrastructure rigide

S'il faut s'attendre à ce que la déformabilité minimale admissible sur la plate-forme (Tableau - :51) ne soit pas atteinte, comme par exemple sur une dalle en béton (pont, radier de tunnel, cuvette d'eau souterraine, etc.) ou sur un radier rocheux, des mesures visant à réduire la rigidité de l'infrastructure doivent être prévues dans le projet. Cela contribue à prolonger la durée d'utilisation du matériel roulant, de la superstructure (rails, traverses, ballast, moyens de fixation) et de l'infrastructure rigide. Les transitions de la voie libre à l'infrastructure rigide sont réglées dans la section 5.10.

Pour améliorer la capacité de bourrage, une méthode de construction simple consiste à poser une couche de transition de ballast compacté de manière homogène sur la planie dure, directement sous le lit de ballast nécessaire pour la technique ferroviaire.

L'épaisseur totale nécessaire du ballast de la voie au-dessus d'une infrastructure rigide est de 30 cm de ballast pour tous les groupes de charge de la voie, plus une éventuelle couche de transition. Cette couche de transition dépend du groupe de charge de la voie et du type de traverse, conformément au Tableau -53 .

	Groupe de charge de la voie (selon le paragraphe)4.5		
	N1	N2/N3	N4
Traverses en béton	10 cm	0 cm	0 cm
Traverses en acier/bois	0 cm	0 cm	0 cm

Tableau -53 : Epaisseur de la couche de transition en gravier sur une fondation rigide.

5.2.5 Structure géométrique

La couche d'arrêt et la pente transversale de la couche de fondation et de la plate-forme servent à protéger l'infrastructure contre les infiltrations d'eau. La couche de fondation et la plate-forme doivent être drainées, ce qui nécessite des mesures constructives appropriées en cas d'obstacles longitudinaux (p. ex. fondation de canalisations de câbles sur des gravillons de 8/16 mm ou plus gros, sur des granulés de verre ou dans un corps drainant ; fondations individuelles pour les murs antibruit, etc.) La pente transversale sur la plate-forme est d'au moins 5 %. Sur la plate-forme, elle est de

- 3 % dans le cas d'une couche d'arrêt bitumineuse et sur une fondation rigide
- 5 % dans les autres cas.

La pente transversale de la plate-forme et du platelage des lignes à double voie doit également être réalisée en forme de selle et symétriquement avec une rupture de pente dans l'axe de la double voie dans les courbes de la voie et dans les zones d'aiguillages et de passages à niveau.

Dans des conditions locales particulières, la disposition d'une pente transversale unilatérale sur deux voies peut être appropriée (p. ex. lors de changements de voie dans des virages, en général à proximité de murs de soutènement et de ponts ou lors de la construction d'une voie supplémentaire à côté d'une voie existante pour optimiser le système de drainage existant).

Dans ce cas, il convient d'accorder une attention particulière à la mise en place d'une couche de barrage fonctionnelle, même au niveau des transitions entre les étapes de travail, ainsi qu'au compactage homogène de la couche de pré-colmatage (pour les détails, voir le paragraphe 9.1).

Lors de la mise en place d'une couche de fondation en mélange non lié sans couche de barrage, il est possible de renoncer à la réalisation d'une pente transversale entre la plate-forme et la couche de fondation (infiltration sans dommage).

Les changements de pente transversale doivent être réalisés sur une plage de 5 à 10 mètres. Il convient de viser une pente minimale de la ligne de pente de 2 %.

5.3 Gel

5.3.1 Généralités

Pour les nouvelles constructions, des mesures de protection contre le gel doivent être examinées pour les groupes de charge de la voie N1, N2 et N3 si le sous-sol est constitué de sols de la catégorie G3 (risque de gel moyen) ou G4 (risque de gel fort) selon VSS 70140b et si une ou plusieurs des conditions hydrologiques défavorables suivantes s'appliquent simultanément :

- Profondeur d'incision (OK du terrain au OK du seuil) > 3 m
- Distance entre le niveau déterminant de la nappe phréatique et le haut du seuil < 2 m
- présence d'eau du sol sous pression

Il n'est pas nécessaire de dimensionner l'infrastructure au gel pour le groupe de charge des voies N4.

5.3.2 Dimensionnement de l'infrastructure en fonction du gel

Le paramètre de dimensionnement le plus important contre les effets du gel est l'indice de gel de l'air selon VSS 70140b. En raison de la structure standardisée de la chaussée avec un lit de gravier isolant et de l'absence de conditions climatiques extrêmes, il en résulte de faibles différences dans le comportement des sols G3 et G4. L'influence du rayonnement peut donc être négligée. Pour les installations ferroviaires avec une superstructure en ballast, on peut donc appliquer une méthode de dimensionnement simplifiée par rapport à la construction routière.

Épaisseur de comparaison [m] :

$$z = f_s - d_s + f_{(b)} - d_b + f_k - d_k$$

facteurs de correction :

- Gravier : $f_s = 0.5$ (0.8 en cas de conditions locales favorables conditions climatiques)
- couche barrière contenant du bitume : $f_b = 0.7$
- Mélange non lié/sable à graviers : $f_k = 1.0$

Épaisseurs de couche [m] :

d_s : lit de ballast
 d_b : couche barrière bitumineuse
 d_k : mélange non lié/sable à graviers

Profondeur de gel [m] :

$$X = 0,00077 - FI + 0.53$$

Indice de gel de l'air [°C-jours] :

FI (un indice de gel minimal de 200 °C jours ne doit pas être dépassé.)

Condition pour le dimensionnement au gel [m] : $z \geq X$

Les indices de gel déterminants de différents lieux sont contenus dans l'annexe A9A9 . L'indice de référence pour d'autres lieux doit être interpolé ou déterminé selon VSS 70140b.

La profondeur de gel doit être mesurée à partir du bord inférieur du seuil.

5.4 Évacuation des eaux

5.4.1 Généralités

Des drainages de bonne qualité et fonctionnant durablement sont décisifs pour la déformabilité et la durée d'utilisation du corps de la voie. La durée d'utilisation doit correspondre au minimum à celle de l'infrastructure.

Pour planifier le bon type de drainage, il faut tenir compte de deux conditions marginales importantes :

- les restrictions légales
- les caractéristiques géotechniques de l'infrastructure et du sous-sol des environs dans le périmètre du projet

La RL OFT/OFEV [1] traite des exigences et de l'admissibilité d'un drainage selon la LEaux et l'OEaux. La présente réglementation RTE définit les solutions techniques possibles en fonction des conditions géotechniques et s'adresse ainsi aux ingénieurs. Pour déterminer l'admissibilité et le choix du système d'évacuation des eaux, il convient de procéder suffisamment tôt aux clarifications nécessaires en matière d'environnement.

En relation avec l'évacuation des eaux, outre les aspects centraux de l'infiltration et du rejet selon la directive OFT/OFEV[1] , d'autres thèmes environnementaux peuvent être pertinents en fonction du projet, comme par ex :

- Protection des écosystèmes aquatiques particulièrement sensibles, comme les frayères
- Prévention des accidents majeurs selon l'OPAM :
 - Évacuation des eaux usées sur les tronçons avec transport de marchandises dangereuses, voir directive OFT/OFEV[1] (art. 3 OPAM)
 - Mesures de protection des eaux de surface et des eaux souterraines, voir OFT [2]
- Nature et paysage (LPN et OPN) : p. ex. interdiction de déverser dans les marais
- Protection des sols (selon l'OMPP)

La CL OFT/OFEV[4] offre une aide.

5.4.2 Exigences techniques

En règle générale, le système de drainage choisi doit répondre aux exigences suivantes:

- Évacuer l'eau de la zone de la chaussée vers le côté
- intercepter l'eau qui s'écoule latéralement en dehors de la zone de la chaussée
- empêcher l'eau de pénétrer dans le soubassement
- Infiltrer ou évacuer l'eau en dehors de la couche de fondation et en dessous de la plate-forme
- fonctionner durablement

La structure de la couche d'arrêt des nouvelles constructions doit présenter une étanchéité à l'eau suffisante, d'au moins $k \leq 10^{-7}$ m/s.

L'eau dans l'infrastructure provoque des pertes de portance dans les différentes couches et peut, avec la charge dynamique du trafic, entraîner la destruction des limites des couches. Cela entraîne un mélange des matériaux de l'infrastructure, voire des remontées de particules fines dans le lit de ballast. Il faut donc éviter autant que possible que l'eau ne pénètre dans l'infrastructure, tout en tenant compte de l'influence de la charge dynamique du trafic.

Si, d'un point de vue technique et environnemental, une couche d'arrêt n'est pas nécessaire, une infiltration diffuse à travers l'infrastructure peut être examinée pour le groupe de charge de la voie N3.

Les mesures contre la pénétration d'eau affluant latéralement sont en général identiques aux dispositions usuelles dans la construction routière. Pour garantir la fonction de filtre, la pose d'un géosynthétique (tissu filtrant) peut être appropriée (voir section 8.4). Contre les eaux météoriques, il convient de prendre des mesures conformément au paragraphe 5.4.4 (voir également les annexes A7A7 et A8A8).

5.4.3 Dimensionnement

5.4.3.1 Quantité d'eau

Pour le dimensionnement des systèmes d'évacuation des eaux, il faut compter (à l'exception des installations de rétention, voir paragraphe 5.4.3.3) avec un coefficient d'écoulement de 0,5 - 0,7 pour le corps de la voie ferrée au-dessus de la plate-forme. Les coefficients d'écoulement des autres surfaces doivent être déterminés selon les règles de la construction routière (p. ex. VSS 40353).

Le choix du coefficient d'écoulement dépend de l'épaisseur du lit de ballast (surface totale des grains de ballast), de la surface de la planie (absorption) et de sa pente (vitesse d'écoulement).

La pluie de courte durée est déterminante pour le dimensionnement des conduites. On peut admettre une durée de 15 minutes. La détermination de l'intensité de la pluie se fait par analogie avec la norme VSS 40350. La période de retour doit être de 2 ans.

5.4.3.2 Conduites de drainage

Le diamètre minimal des tuyaux de drainage est de 200 mm. La pente minimale de la conduite est de 5. En cas d'utilisation de tuyaux en plastique, il convient en général d'utiliser des produits en polyéthylène (PE, PE-HD) ou en polypropylène (PP, PP-HM). Il convient de renoncer aux tuyaux en PVC. La rigidité annulaire (rigidité au sommet) des tubes à l'état fendu est de \geq SN8. Les tubes doivent être certifiés Qplus.

Entre les chambres de visite, les conduites doivent être formées en ligne continue, sans coudes. L'introduction dans les chambres de visite doit se faire en ligne droite et sans changement de direction gênant la visibilité. Les distances entre les regards doivent être réalisées conformément aux indications de la norme SN 533190. En règle générale, il convient de choisir une distance entre les regards de visite < 80 m.

Pour les tuyaux de drainage (tuyaux d'infiltration), la surface d'entrée est d'au moins $100 \text{ cm}^2/\text{m}$. En cas de forte tendance à l'infiltration des eaux souterraines/de montagne, il convient de choisir des surfaces d'entrée plus grandes en conséquence. Les tuyaux présentent des fentes d'au moins 8 mm de large ou des trous d'au moins 16 mm de diamètre (SN 564272).

Le béton de suintement ne doit pas être utilisé pour les packs de suintement sans effet de soutien (renouvellement d'accotement) (prévention d'une accélération du frittage).

Les conduites de drainage doivent être placées autour des fondations des poteaux de caténaire.

5.4.3.3 Installations de retenue

Pour réduire les pics de crue dans un milieu récepteur à capacité limitée, il faut dans certains cas prévoir une rétention des eaux pluviales. Une rétention peut en outre être

combinée avec le traitement des eaux de ruissellement de la voie ou, selon la capacité de l'installation de traitement, être placée en amont de celle-ci.

Pour le dimensionnement des installations de rétention, il faut tenir compte des conditions locales de précipitations, des conditions de déversement dans le cours d'eau local, respectivement des prescriptions des plans communaux d'évacuation des eaux (PGEE) ou des plans régionaux d'évacuation des eaux (PREE). Les directives OFT/OFEV[1] et, en complément, les directives VSA[3] offrent des aides à l'élaboration de projets, sachant qu'en cas de contradictions, les directives OFT/OFEV[1] sont déterminantes.

Les installations de retenue ne devraient pas être construites dans la zone de charge de la chaussée et, si possible, être situées en dehors de la voie de circulation. Il faut viser une construction aussi simple que possible et bien visible, afin que les contrôles de fonctionnement et les travaux d'entretien soient possibles sans précautions particulières.

Dans les zones où le volume de marchandises dangereuses est plus important, des mesures de rétention peuvent également être nécessaires en cas d'avarie. Pour cela, les installations doivent pouvoir être fermées par une vanne. Dans certaines circonstances, un volume supplémentaire est nécessaire pour l'eau d'extinction. Dans de tels cas, une bonne accessibilité pour les forces d'intervention doit également être prise en compte lors du choix du site.

5.4.4 Contrôle et maintenance

L'installation d'évacuation des eaux doit être documentée dans le plan de l'ouvrage réalisé. Cela comprend également la documentation de l'évacuation et de l'élimination des eaux usées en dehors du périmètre du projet ou de l'aire ferroviaire.

Les installations de drainage doivent être entièrement contrôlées lors de la réception des travaux. Durant la phase d'exploitation, elles doivent être inspectées et nettoyées périodiquement. Les intervalles de nettoyage doivent être adaptés à l'apport d'impuretés/de sable et à d'éventuelles sédimentations, à la dureté de l'eau et à la tendance à l'obstruction des orifices d'entrée des tuyaux. Des drainages qui fonctionnent mal entraînent des problèmes d'infrastructure et favorisent en outre la végétation sur les accotements, ce qui augmente les activités d'entretien.

5.5 Traversées de conduites

5.5.1 Étude de projet

Lors de la détermination de la profondeur des traversées de conduites, il faut tenir compte de la conception de l'infrastructure, de la structure du sous-sol (aspects géologiques et géotechniques) et de la présence éventuelle d'eau souterraine. D'une manière générale, la conduite, y compris l'enveloppe de la conduite, doit être posée sous la plate-forme.

Les traversées de conduites doivent être perpendiculaires à la voie et, en principe, en dehors des aiguillages. En cas de divergence, il convient de consulter les services spécialisés.

En règle générale, une distance d'au moins 0,30 m doit être respectée entre le fond de la tranchée drainante et le sommet de la traversée de la conduite située en dessous.

5.5.2 Traversées ferroviaires appartenant au chemin de fer

Pour les traversées de conduites, la distance entre le sommet du tube et le bord supérieur du seuil doit être supérieure à 1,30 m. Ainsi, un assainissement ultérieur de l'infrastructure pourra être effectué sans obstacles.

La profondeur des traversées de conduites pour le groupe de charge des voies N4 doit être déterminée au cas par cas par le service spécialisé.

5.5.3 Traversées appartenant à des tiers

Les traversées de conduites étrangères au chemin de fer ne doivent pas entraver les installations techniques ferroviaires ni rendre plus difficile leur construction et leur entretien futurs.

La prise en compte de toutes les conditions limites entraîne généralement une hauteur de crête de la traversée de la ligne de 2,00 m ou moins sous le niveau supérieur du seuil (voir VSS 71260).

5.5.4 Exécution

Un concept de sécurité et de surveillance doit être établi avant chaque exécution.

Lors de la construction de conduites à ciel ouvert, le fond de la tranchée et le remblai doivent être conçus de manière à ce qu'une fondation homogène puisse être posée par-dessus.

En cas de réalisation sans tranchée, une concertation avec le service compétent est nécessaire.

La résistance à la pression au sommet du tuyau en plastique doit être dimensionnée (rigidité annulaire à long terme d'au moins PE100 et rigidité annulaire à court terme d'au moins SN 8).

5.6 Stabilité du filtre

La stabilité du filtre se compose des deux fonctions "séparation" et "filtration" entre deux matériaux adjacents. En présence d'un courant d'eau, c'est la fonction "filtrer" (écoulement de l'eau sans pression) qui est prioritaire, sinon c'est la fonction "séparer" (empêcher le remaniement des grains).

En l'absence d'un courant d'eau, la fonction "séparation" est prépondérante pour la sollicitation dynamique de l'infrastructure par la circulation des trains. Le mélange aux interfaces de la couche de gravier est empêché si les critères de filtrage selon VSS 70125 sont respectés. Dans l'infrastructure ferroviaire, le critère initial de Terzaghi a fait ses preuves :

$D_{15} \text{ matériau filtrant} / D_{85} \text{ matériau à grain plus fin} \leq 4$
--

Pour obtenir une stabilité suffisante du filtre sur la plate-forme, les variantes suivantes sont possibles :

1. Mise en place d'une couche de transition minérale
2. Mise en place d'un géotextile séparant les couches voisines (voile de séparation)

Un géotextile ou un sous-sol stabilisé sans formation d'une couche de fondation en mélanges non liés ne remplit pas la condition de stabilité du filtre, car sous une charge dynamique, des matériaux fins provenant du sous-sol peuvent traverser le géotextile et remonter dans le lit de ballast.

En outre, la stabilité du filtre doit également être garantie dans la zone des fossés de drainage avec un afflux latéral d'eau de pente ou de couche ou dans la zone des eaux souterraines (filtrage). Les remaniements granulaires dus au passage de l'eau doivent être empêchés de telle sorte qu'il n'y ait pas de diminution de la capacité d'écoulement.

Ici aussi, il est possible d'installer soit un filtre minéral, soit un géotextile (tissu filtrant) qui sépare les matériaux voisins et permet à l'eau de circuler sans pression.

5.7 Tolérance de construction

Les écarts admissibles par rapport aux hauteurs de projet sont de ± 3 cm pour la plate-forme, de ± 2 cm pour la nivellement de la couche de fondation, de ± 1 cm pour une couche barrière bitumineuse et de ± 2 cm pour le pré-gravillonnage.

Des creux de 3 cm maximum sont autorisés sous la latte de 3 m.

Pour des raisons de sécurité, les lattes de 4 m ne doivent pas être utilisées sur les voies situées sous les caténaires.

Pour les planches bitumées, la norme VSS 40525 s'applique.

5.8 Banquette

5.8.1 Généralités

L'accotement constitue la fermeture latérale de la chaussée et forme l'épaule du talus dans le cas des remblais. Il sert de voie de service au personnel et doit également agir comme une barrière naturelle contre la végétation indésirable.

Lors de l'élaboration du projet de la banquette, l'entretien des espaces verts et les exigences légales (protection des eaux souterraines, protection du paysage, de la flore, de la faune, etc.) doivent être pris en compte et démontrés.

Des banquettes praticables doivent être aménagées de part et d'autre des tronçons à voie unique ou à double voie, si cela est techniquement et opérationnellement possible et économiquement supportable (voir DE-OCF relatives à l'art. 18, voie normale ou voie métrique, CG 18.3, ch. 2.2).

Une banquette est considérée comme praticable lorsque les dimensions (distance minimale et largeur minimale) indiquées au point 5.8.2 sont respectées et qu'elle ne comporte ni marches ni obstacles.

Un accotement est considéré comme une voie d'évacuation lorsque la zone dangereuse ne peut être quittée que le long de l'accotement. Les obstacles existants tels que les entailles, les murs de soutènement et autres ne permettent pas de quitter l'endroit par le côté.

5.8.2 Géométrie

Les dimensions se réfèrent à la position de la voie selon le piquetage et à un système d'axes défini par le milieu du bord supérieur du rail le plus proche.

La géométrie de l'accotement (largeur et hauteur) dépend de la topographie, d'éventuelles constructions latérales (p. ex. pylônes, parois antibruit) ainsi que du gabarit, y compris la prise en compte des courbes et de l'utilisation prévue. En profondeur, l'accotement s'étend jusqu'à la plate-forme, voire jusqu'à la couche de fondation si une couche de barrage est présente.

La distance entre l'intérieur de la banquette et le milieu pertinent du rail extérieur devrait être d'au moins 1,50 m (correspond à la distance de sécurité selon R RTE 20100).

La largeur minimale b_b de la banquette praticable correspond en règle générale à la largeur de la voie de service selon les DE-OCF relatives à l'art. 18, voie normale ou voie métrique, DE 18.3. S'il existe un chemin de câbles, les largeurs minimales suivantes doivent être prises en compte :

- 0,60 m à $v \leq 160$ km/h
- 0,90 m à $v > 160$ km/h
- 1,00 m pour voie d'évacuation accessible en fauteuil roulant

La hauteur de la banquette h_b est déterminée par l'accès à la voie et la possibilité de stocker des outils et devrait idéalement se situer entre 0,40 m et 0,60 m sous le bord supérieur du rail le plus proche.

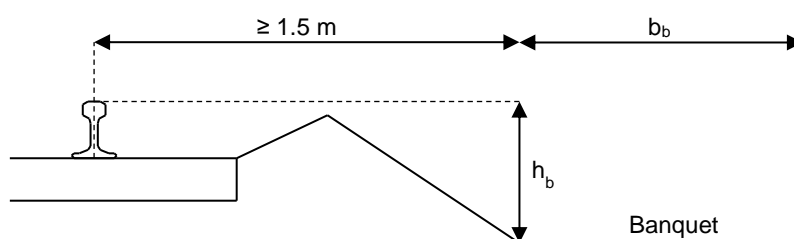


Illustration -54 : Géométrie de la banquette

La conception de la banquette avec une pente de talus maximale de 2:3 dans la zone du barrage est une condition préalable pour qu'elle soit considérée comme favorable aux amphibiens et aux reptiles.

Pour que le fauchage sans interruption soit possible, l'accotement et le talus doivent être formés en conséquence.

5.8.3 Matériaux

Pour assurer le drainage de la chaussée, l'accotement au-dessus de la plate-forme doit être réalisé en matériau perméable à l'eau (gravier concassé, lavé ou dépoussiéré, ou vieux gravier lavé non pollué). Cela permet à la fois de réduire la croissance des plantes et de permettre l'écoulement latéral de l'eau de l'accotement.

Le gravier concassé 8/32 ou 16/32 convient entre autres comme couverture (ce dernier uniquement pour le niveau et la couche d'incision). L'accotement à gros grains peut par exemple être recouvert d'une couche à grains fins d'environ 10 cm d'épaisseur (p. ex. sable de gravier concassé 0/16¹) pour une meilleure praticabilité. Le sable graveleux concassé 0/16 est représenté sous forme de mélange dans la VSS 40744. Pour tous les matériaux d'accotement et d'infiltration, les groupes granulaires 4/8 et 11/16² doivent présenter une valeur $LA \leq 40$ concernant la résistance à la fragmentation selon SN EN 1097-2.

Avant la mise en place des matériaux d'accotement, il faut veiller à ce que l'excavation de la terre végétale et des matériaux végétaux tels que les gazons, les rhizomes, etc. soit suffisamment profonde. En règle générale, au moins l'horizon A (humus) doit être évacué ou réutilisé dans le talus.

¹ Exemples : débris de trins en calcaire érodé ou cailloux de calcaire de Netstal

² Selon le type de production, la valeur LA peut être vérifiée sur le groupe de grains 8/11 ou 8/16 au lieu du groupe de grains 11/16.

Si des plantes problématiques envahissantes (néophytes, comme la renouée du Japon) poussent dans la zone des talus actuels, un concept spécial de gestion des matériaux terreux est nécessaire. Il faut impérativement éviter de transporter des parties de plantes.

5.8.4 Banquette anti-prolifération de la végétation

Une banquette anti-prolifération de la végétation doit être aménagée de manière à présenter de mauvaises conditions de croissance pour les plantes. Les banquettes anti-prolifération de la végétation doivent ainsi permettre de réduire l'utilisation d'herbicides (cf. directive OFT/OFEV[1]).

Pour qu'un accotement soit considéré comme empêchant la croissance de la végétation, il doit en général être refait et présenter les caractéristiques suivantes :

- peu de particules fines§
- écoulement optimal de l'eau

Cela peut être réalisé par une structure en matériau à gros grains à partir de la plate-forme ou par l'utilisation de la couche de barrage dans la zone de l'accotement. Il est également possible d'utiliser les matériaux calcaires argileux décrits dans le chapitre précédent, avec lesquels les GI ont obtenu de bons résultats dans la pratique.

5.9 Remblai

En principe, les remblais pour les chemins de fer doivent être réalisés selon les mêmes règles que ceux pour les routes (voir SN 505267, chap. 15). Il convient de tenir compte des valeurs de déformabilité de la couche de fondation, conformément au paragraphe 5.2.1. Les valeurs de déformabilité de la couche de fondation ne doivent pas être dépassées.

Si la surface du sous-sol est inclinée, il convient d'examiner si la stabilité du barrage nécessite un fond de forme étagée. La durée d'utilisation et les actions dues au trafic ferroviaire à déterminer selon la norme SN 505261 (notamment les modèles de charge et les coefficients correspondants) doivent être consignées dans la convention d'utilisation ou dans la base du projet. Pour les remblais, le coefficient dynamique peut être fixé à 1 conformément à la SN 505261, al. 11.3.1.6. $\Phi =$.

Les sols mous, sensibles au tassement ou aux vibrations du sous-sol (argile molle, tourbe, craie lacustre, etc.) doivent être excavés jusqu'à une profondeur suffisante et remplacés ou éventuellement stabilisés. Si, sur la base de calculs et/ou de mesures, des épaisseurs de couche plus importantes ne sont pas nécessaires, la règle générale suivante s'applique : des couches de sol stables d'une épaisseur totale d'au moins 3 m sont nécessaires sous le lit de ballast.

En cas de remblayage contre une digue existante, les marches doivent être réalisées sous forme d'emboîtement. Si le matériau utilisé pour le remblayage est moins perméable que la digue existante, il faut prévoir une couche de drainage entre l'ancienne et la nouvelle digue et sous la nouvelle digue, afin d'évacuer l'eau et d'éviter une accumulation d'eau.

Lorsque le niveau de la nappe phréatique est élevé et/ou varie fortement, ainsi que dans le cas d'un sous-sol cohésif et saturé, il convient d'installer un drainage de surface entre le sous-sol et le corps de la digue afin de rompre l'effet de capillarité et d'atteindre la stabilité de filtration.

Pour les exigences relatives au degré de compactage et à la déformabilité, c'est la VSS 40585 qui fait foi. L'exécution des travaux d'excavation et de remblayage est régie par la VSS 40575.

5.10 Transitions voie libre - infrastructure rigide

Pour les passages d'une voie libre à une infrastructure rigide (ponts, passages souterrains, tunnels, cuves d'eau souterraine, etc.), il convient de faire appel aux services spécialisés compétents pour la chaussée et le génie civil.

Lors du passage de la voie libre à des ouvrages rigides ou à des portails de tunnel, la rigidité de la voie, la résistance au déplacement transversal ainsi que la déformabilité et la géométrie de la planie et la configuration de l'accotement (supports latéraux du ballast) changent dans le cas d'une superstructure continue sur ballast, le plus souvent pour des raisons de construction. En particulier en ce qui concerne les sauts de rigidité, il faut en outre tenir compte des zones de remblayage ou de portique des ouvrages.

Les prescriptions relatives aux passages sur les ponts et, par analogie, aux autres passages sont présentées dans les DE-OCF relatives à l'art. 26, CG 26.1. En outre, les dispositions des DE-OCF relatives à l'art. 31, voie normale, CG 31 concernant les passages entre différentes rigidités de la voie doivent être respectées.

5.11 Tunnel

5.11.1 Généralités

L'infrastructure de la chaussée et l'ouvrage du tunnel doivent être planifiés pour la même durée d'utilisation. La durée d'utilisation et les actions (notamment les modèles de charge et les coefficients correspondants) doivent être définies dans la convention d'utilisation ou dans la base du projet, sur la base de la norme SN 505261.

L'annexe A10A10 contient des indications pour l'étude de projets de nouvelles constructions et de rénovations.

5.11.2 Drainage et maintien à sec de la chaussée

Pour les drainages de tunnels, le service spécialisé doit être consulté.

En principe, on distingue deux concepts de drainage pour les tunnels selon les normes SN 505197, SN 505197/1 et SN 564272 :

- a. drainant :
Les eaux souterraines ou de montagne sont évacuées sans créer de pression d'eau sous la voûte du fond ou au point le plus bas possible du tunnel.
- b. de l'eau de pluie :
Les eaux souterraines ou de montagne restent à l'extérieur de l'ouvrage. Dans tous les cas, le radier ou l'infrastructure doivent être dimensionnés pour résister à la pression de l'eau.

Dans les tunnels, un concept de drainage doit être mis en place pour éviter l'accumulation ponctuelle de pression d'eau sous la semelle ou dans le fond du tunnel. Les dommages peuvent être prévenus par

- emplacement profond des tuyaux de drainage
- Captage de tous les apports d'eau de montagne ainsi que des apports d'eau diffus
- bonne accessibilité des installations de drainage

- grands diamètres intérieurs des tubes
- dispositifs de drainage généreux/supplémentaires dans les endroits où des injections ont été effectuées pour consolider la roche ou déplacer de l'eau

5.11.3 Drainage drainant de la chaussée dans le tunnel

Le drainage de la chaussée doit être conçu de manière à ce que l'infrastructure soit durablement drainée. Aucune surpression d'eau interstitielle ne doit se produire dans l'infrastructure. Cela signifie que la pression de l'eau de montagne doit être entièrement et durablement détendue à une profondeur suffisante sous la chaussée (conduite de fond, forages de décharge). Une détente seulement partielle de la pression de l'eau ne la réduit pas complètement. Celle-ci augmente généralement pendant la durée d'exploitation en raison du colmatage et du frittage de l'infrastructure ou du système de drainage.

La pente transversale minimale des surfaces à drainer dans le tunnel dépend du matériau ; en règle générale, elle doit être $\geq 2,5 \%$.

Le maintien à sec de l'infrastructure et du radier rocheux ainsi qu'une détente suffisante de la pression de l'eau sur le radier du tunnel pendant la construction et l'exploitation influencent positivement la durée d'utilisation et l'intensité de l'entretien.

5.11.4 Drainage par refoulement

Si aucun drainage drainant ne peut être projeté, les possibilités suivantes existent :

- Dimensionnement du radier du tunnel à la pression de l'eau (même en cas de faibles pressions d'eau ; p. ex. 0,5 m au-dessus du bord inférieur de la chaussée)
- Étanchéité de la semelle (bandes de jointoiement, membrane d'étanchéité)

Pour le drainage de tunnel par refoulement, il convient de faire appel au service compétent en matière de construction de tunnels.

5.12 Infrastructure pour voie sans ballast

5.12.1 Généralités

Une voie sur dalle (superstructure sans ballast) exige une infrastructure qui reste stable pendant toute la durée d'utilisation. Si des déformations apparaissent, elles ne doivent pas dépasser une certaine limite pendant la durée d'utilisation, qui dépend de la construction de la superstructure. Contrairement à la voie sur ballast, la voie sur dalle n'offre que très peu de possibilités de correction en cas d'urgence.

Il faut renoncer à une voie sans ballast

- en cas de risque de déformation,
- en cas de risque de soulèvement de la chaussée (par ex. par des pressions d'eau ou des roches gonflantes)
- dans des zones d'affaissement de terrain ou
- dans les sols sensibles au tassement.

Le soubassement doit être aussi rigide, homogène et régulier que possible.

5.12.2 Valeurs limites pour la déformabilité de la planie

La valeur M_{E1} selon VSS 70317 ou, si celle-ci n'est pas appropriée, la déflexion élastique d selon VSS 70362, avec les valeurs limites suivantes, sert de critère pour la déformabilité de la surface sous la dalle porteuse de la voie :

M_{E1} [MN/m ²]	M_{E2}/M_{E1} [-]	d [1/100 mm]
≥ 100	≤ 2.5	≤ 50

Tableau -55 : Valeurs limites pour la déformabilité de la planie sous la dalle porteuse de la voie.

Pour les exigences en matière d'uniformité ainsi que pour les méthodes de contrôle possibles, les normes VSS 40585 et VSS 70311 s'appliquent par analogie.

Traduction automatique

6 Infrastructure lors de maintenance

6.1 Généralités

Ce chapitre contient les directives à appliquer pour les projets de conservation selon le paragraphe 4.1

En cas de conservation, il faut viser une structure à deux couches (couche de fondation et couche de barrage séparées), en particulier en cas de charges sur la voie > 30'000 Bt/d. Les couches de fondation et de barrage ne doivent pas être séparées.

Les projets de rénovation ne peuvent souvent pas être réalisés avec des véhicules de chantier lourds en raison des conditions géotechniques et/ou pour des raisons liées à l'exploitation ferroviaire :

Si les conditions locales et d'exploitation permettent une transformation de type routier avec des véhicules de chantier lourds, il faut en général viser une structure à deux couches

Souvent, les projets de conservation sont réalisés avec un accès latéral et frontal (avant-tête) ou uniquement avec des engins de chantier légers. Dans ces cas, il est possible de réaliser une structure monocouche.

La nécessité et l'ampleur des mesures d'entretien de l'infrastructure doivent être déterminées sur la base d'une étude géotechnique appropriée de l'infrastructure existante, du sous-sol et en tenant compte des expériences faites en matière d'entretien. L'étude géotechnique fournit des bases de décision pour la définition des mesures à prendre au niveau de l'infrastructure et du drainage.

Une étude géotechnique doit toujours être effectuée sur les voies des groupes de charge E1 et E2 lorsque

- il est prévu de passer de traverses en acier ou en bois à des traverses en béton,
- une rénovation des traverses en béton est prévue
- des problèmes de stabilité de la chaussée ou des problèmes d'infrastructure sont connus ou
- l'apparition de problèmes d'infrastructure ne peut pas être exclue en cas de charge plus élevée sur la voie.

Pour les voies des groupes de charge E3 à E4, une étude géotechnique n'est obligatoire en cas de passage à des traverses en béton que si, en même temps

- il y a de gros problèmes d'infrastructure et
- des charges beaucoup plus élevées sont prévues.

Dans tous les autres cas, il est possible de renoncer à une étude géotechnique.

En principe, lors d'un changement de traverse, il faut s'efforcer de respecter l'épaisseur du lit de ballast selon Tableau -71 .

Si l'étude géotechnique conclut que l'infrastructure existante ne suffit plus pour une prochaine durée d'utilisation de la superstructure ou qu'elle entraînerait une réduction inadmissible de la durée d'utilisation, il est nécessaire de prendre des mesures dans l'infrastructure.

Les systèmes d'équipes suivants ont fait leurs preuves :

- Couche barrière bitumineuse ou minérale avec couche de fondation sous-jacente
- Couche de barrage et de fondation en sable de gravier PSS avec/sans géosynthétique
- Couche de drainage et couche barrière en "sandwich"
- Couche de fondation en matériau perméable
- Membrane d'étanchéité avec couche de drainage et de protection
- Matériaux de construction légers

L'élaboration du projet se déroule comme suit :

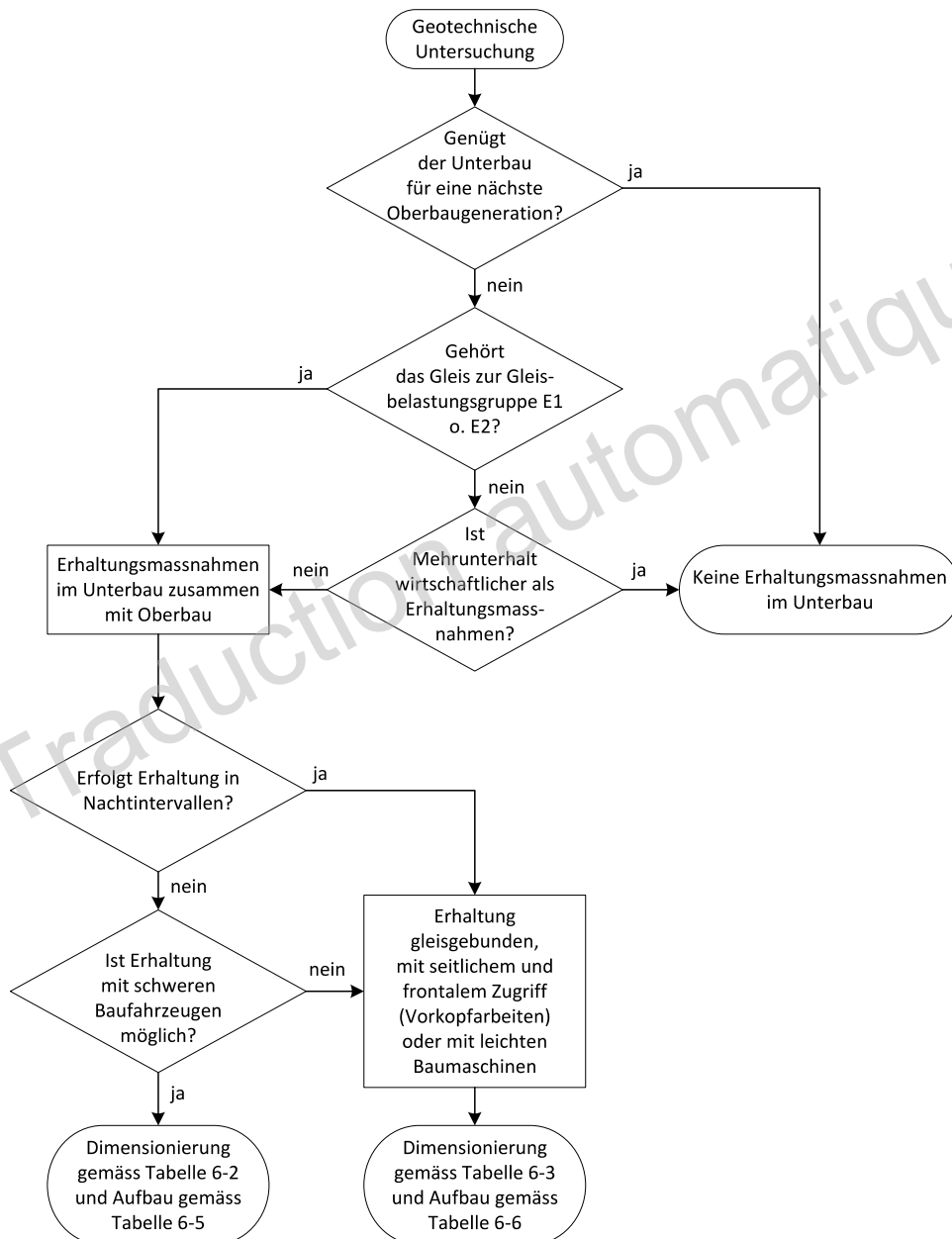


Figure -61 : Procédure pour déterminer le type de conservation

6.2 Déformabilité

La déformabilité en cas d'entretien dépend de la méthode de mise en œuvre, car les exigences d'exploitation concernant la déformabilité sur la surface en raison de la superstructure existante sont toujours égales ou inférieures à celles de l'état de construction.

Le facteur décisif est de savoir si la surface doit être parcourue par des véhicules de chantier lourds (par ex. finisseurs) pendant la pose. Si c'est le cas, des exigences plus élevées en matière de déformabilité doivent être atteintes (voir Tableau -62). Les véhicules de chantier lourds sont des véhicules à chenilles dont la pression au sol est supérieure à 80 kN/m² ou des véhicules sur pneus dont la charge par essieu est supérieure à 2 tonnes.

Si des engins de construction de voies ferrées sont utilisés ou si seuls des véhicules de construction légers circulent sur la plate-forme et la couche de forme, il convient d'appliquer des valeurs de déformabilité adaptées (voir Tableau -63).

6.2.1 Valeurs limites

Pour les projets de rénovation avec des véhicules de chantier lourds, les valeurs limites à respecter sont celles Tableau -62 . Les exigences sont conçues pour l'exploitation. A l'exception de la plate-forme pour les groupes de charge E1/E2, elles sont déjà plus élevées en raison des véhicules de chantier lourds. Pour l'exploitation, une déformabilité maximale de $M_{E1} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ serait également suffisante pour les groupes E1/E2.

Groupe de charge de la voie (conformément à Section)4.5	sur planie				sur plate-forme
	déformabilité maximale		déformabilité minimale		déformabilité maximale
	M_{E1} [MN/m ²]	d [1/100 mm]	M_{E1} [MN/m ²]	d [1/100 mm]	M_{E1} [MN/m ²]
E1/E2	60 ^{a)}	140 ^{b)}	150 ^{a) c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
E3	40 ^{d)}	170 ^{b)}	150 ^{c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
E4	15 ^{d)}	-	150 ^{c)}	-	15 ^{d)}

a) Sur la surface de la couche de fondation sous la couche d'arrêt et d'égalisation

b) Uniquement à titre indicatif, car la fonction première de la couche barrière est l'imperméabilité à l'eau et la déflexion d ne donne aucune information à ce sujet.

Pertinent uniquement si une couche barrière bitumineuse est mise en place (cf. Tableau -65).

c) L'expérience montre que des sollicitations importantes du lit de ballast ne peuvent pas être exclues dès des modules de déformation $M_{E1} > 120 \text{ MN/m}^2$. La valeur limite de $M_{E1} = 150 \text{ MN/m}^2$ n'a pas été abaissée pour des raisons techniques de construction.

d) La valeur doit être augmentée au cas par cas, en fonction de l'opération de construction prévue (p. ex. à au moins 40 - 60 MN/m² si la planie de la couche de fondation ou la planie doit être parcourue par des véhicules pneumatiques).

Tableau -62 : Valeurs limites pour la déformabilité de l'infrastructure (exigences pour l'état de service) pour les projets de conservation avec des véhicules de chantier lourds.

Pour les projets de construction liés à la voie ferrée avec accès latéral et frontal uniquement (avant-train) ou avec des machines de chantier légères selon le paragraphe 9.3.4 , les valeurs limites à respecter s'appliquent selon Tableau -63

Groupe de charge de la voie (conformément à section 4.5)	Sur planie				Sur plate-forme
	Déformabilité maximale		Déformabilité minimale		Déformabilité maximale
	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]
E1/E2	40	-	150 ^{a)}	-	6 ^{b)}
E3	30 ^{c)}	-	150 ^{a)}	-	6 ^{b)}
E4	15 ^{c)}	-	150 ^{a)}	-	6 ^{b)}

- a) L'expérience montre que des sollicitations importantes du lit de ballast ne peuvent déjà pas être exclues pour des modules de déformation $M_{E1} > 120$ MN/m². La valeur limite maximale autorisée de $M_{E1} = 150$ MN/m² n'a pas été abaissée pour des raisons techniques de construction.
- b) $M_{(E1)}$ -équivalent, car non mesurable au moyen d'un essai de pression statique sur plaque.
- c) La valeur doit être augmentée au cas par cas, en fonction de l'opération de construction prévue (p. ex. à au moins 40 - 60 MN/m² si la planie de la couche de fondation ou la planie doit être parcourue par des véhicules sur pneus).

Tableau -63 : Valeurs limites pour la déformabilité de l'infrastructure (exigences pour l'état de service) dans le cas de projets de conservation avec une faible charge sur la plate-forme et la couche de fondation.

6.2.1.1 Procédure pour démontrer des valeurs suffisantes de déformabilité

Les projets de maintenance de voies ferrées existantes sont également soumis aux mêmes principes que les nouvelles constructions (voir le paragraphe 5.2.1.1). Il convient notamment de tenir compte des conditions d'application de la LA.

6.2.1.2 Preuve de la déformabilité existante

Pour des raisons de temps et de procédure, il n'est généralement pas possible de mesurer le module de déformation $M_{(E1)}$ lors de la première mise en charge lors de la conservation des voies avant leur transformation, comme cela est obligatoire lors de la construction d'une nouvelle voie. D'autres méthodes sont donc utilisées pour vérifier la déformabilité lors d'études géotechniques et pour les contrôles de pose.

Dans le cadre des études géotechniques dans le compartiment des traverses, des mesures sont effectuées dans l'axe de la voie avec le LFG sur des couches de fondation déjà existantes (mélange non lié, sable de concassage, sable de gravier PSS ou similaire). Ces mesures servent en outre à estimer la valeur de la déformabilité de la (future) plate-forme. A cet égard, une seule mesure est exceptionnellement effectuée, conformément à la norme VSS 70313.

L'utilisation du LFG et l'utilisation des valeurs E_{vd} qu'il détermine (sur planie ou sur plate-forme) comme base pour le dimensionnement de l'infrastructure présupposent que la structure des couches jusqu'à au moins 0,40 m environ en dessous de la surface d'essai soit constituée de sols à gros grains, de sols à grains mixtes ou de sols à grains fins rigides à durs. Dans la zone de consolidation normale par le chemin de fer, il peut également être utilisé sur des sols moyennement rigides et à grains fins. Les sols ne doivent être ni gelés ni détrempés (voir la section 5.2.1.1).

Pour autant que les autres conditions mentionnées dans le paragraphe 5.2.1.1 comme condition préalable à l'évaluation de la déformabilité au moyen de valeurs E_{vd} mesurées soient également respectées, il est possible de déduire approximativement les valeurs M_{E1} équivalentes comme suit dans la plage de mesure de $10 \text{ MN/m}^2 \leq E_{vd} \leq 70 \text{ MN/m}^2$ (voir Tableau -64) :

E_{vd} [MN/m ²]	10	20	30	40	50	60	70
M_{E1} [MN/m ²]	11	22	34	50	67	83	100

Tableau -64 : Valeurs approximatives pour les valeurs M_{E1} équivalentes suite à des mesures avec un poids de chute léger.

Les prescriptions relatives à la mise en place et au contrôle sur la couche de fondation sont indiquées aux sections 9.3.3.4 (mélange non lié) ou 9.3.3.7 (sable à gravier PSS).

Vérification de la déformabilité sur la planie :

Le domaine de mesure du LFG se base sur les règles énoncées dans la section 5.2.1.1. Ainsi, les mesures doivent être effectuées sur des couches de fondation constituées de matériaux à gros grains tels que le mélange non lié, le sable de concassage, le sable de gravier PSS ou similaire. On peut s'attendre à des résultats de mesure fiables dans une plage de mesure d'environ $10 \text{ MN/m}^{(2)} \leq E_{vd} \leq 70 \text{ MN/m}^2$.

Les résultats dans la plage de mesure de $E_{vd} > 70 \text{ MN/m}^2$ ont tout au plus un caractère indicatif sans mesures M_{E1} voisines. On part du principe que le matériau à gros grains s'étend au moins jusqu'à environ 0,40 m en dessous de la surface d'essai et qu'il n'est ni gelé ni détrempé.

Vérification de la déformabilité du support :

L'évaluation de la déformabilité du sous-sol se fait souvent sur la base des valeurs E_{vd} mesurées sur la couche de fondation (estimation de la valeur E_{vd} sur la couche de fondation). L'utilisation de la LFG sur la plate-forme peut être appropriée pour des durées de construction plus longues, pour des transformations routières courtes dans l'intervalle des couches (par ex. passages à niveau) ou pour des conditions comparables.

Si les conditions d'utilisation du LFG énumérées ci-dessus pour déterminer les valeurs de déformabilité du sous-sol comme base de dimensionnement de l'infrastructure ne sont pas remplies, les propriétés en question du sous-sol doivent être mesurées et/ou estimées au moyen de méthodes alternatives (par exemple, pénétromètre CBR, essai sur le terrain).

6.2.2 Choix de l'infrastructure et dimensionnement en fonction de la déformabilité

Pour les projets de construction avec des véhicules de chantier lourds, les exigences relatives aux valeurs de déformabilité selon Tableau -62 doivent être respectées. Dans ce contexte, les systèmes de couches selon Tableau -65 ont fait leurs preuves

Pour les projets de construction liés à la voie ferrée avec accès latéral et frontal uniquement (avant-tête) ou avec des machines de chantier légères selon le paragraphe 9.3.4, les exigences selon Tableau -63 s'appliquent. Dans ce contexte, les systèmes de couches selon Tableau -66 ont fait leurs preuves

Les tableaux ne présentent pas toutes les combinaisons possibles de structure à une ou deux couches avec des véhicules de construction légers/lourds

Le Tableau -65 indique les structures de couches minimales à respecter dans le cadre de projets de rénovation selon les normes de construction neuve avec des véhicules de chantier lourds.

Groupe de charge de la voie (selon le paragraphe)4.5	Planum		Structure Sous-structure	
	$M_{E1}^{a)}$ min. [MN/m ²]	CBR ^{b)} min. [%]	Épais [cm]	Matériau
E1	15...30	7...15	7 3 40	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
	> 30	> 15	7 3 25	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
E2	15...30	7...15	7 3 40	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
			5 40	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
	> 30	> 15	7 3 25	S : AC Rail ^{c)} Granulés d'asphalte F : mélange non lié
			5 25	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
E3	≥ 15	≥ 7	7 3 25	S : AC Rail ^{c)} Granulats d'asphalte F : Mélange non lié
			5 25	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
			25	F : mélange non lié
E4	≥ 15	≥ 7	5 20	S : couche barrière minérale F : mélange non lié
			25	F : mélange non lié ^{d)}

- a) Si la valeur M_{E1} sur la plate-forme < est de 15 MN/m², des mesures doivent être prises pour réduire la déformabilité de la plate-forme selon les règles de la construction routière. Une couche de fondation en gravier résistant au gel et bien perméable à l'eau d'une épaisseur minimale de $\geq 0,25$ m est toujours nécessaire sous la couche d'arrêt pour les groupes de charge de la voie E1, E2 et E3 (GW ou GP selon SN EN ISO 14688).
- b) California Bearing Ratio CBR selon SN EN 13286-47
- c) L'épaisseur maximale de la couche d'arrêt bitumineuse est de 0.10 m. En cas d'utilisation comme étanchéité bitumineuse, l'épaisseur minimale est de 0,07 m conformément à la norme SN 531203.
- d) La mise en place d'une couche de fondation sans couche d'arrêt doit toujours être examinée afin de déterminer si elle est conforme au droit de l'environnement.

Tableau -65 : Epaisseurs minimales de la couche de fondation (F) et de la couche de barrage (S) lors de projets de rénovation au moyen de véhicules de chantier lourds

Le Tableau -66 montre les structures d'équipes minimales à respecter Pour les projets de construction liés à la voie avec accès latéral et frontal uniquement (avant-train) ou avec des machines de chantier légères selon le paragraphe .9.3.4

Groupe de charge de la voie (selon le paragraphe)4.5	Planum		Structure Sous-structure	
	M _{E1} [MN/m ²]	CBR ^{a)} [%]	Épais [cm]	Matériau
E1/E2	6...8	3...4	40	S+F : sable à graviers PSS
	> 8...10	> 4...5	35	S+F : sable à graviers PSS
	> 10	> 5	30	S+F : sable à graviers PSS
E3	6...8	3...4	5	S : minéral
			25	F : mélange non lié
			30	S+F : sable à graviers PSS
	> 8	> 4	30	F : mélange non lié ^{b)}
			5	S : couche barrière minérale
			20	F : mélange non lié
E4	≥ 6	≥ 3	30	S+F : sable à graviers PSS
			25	F : mélange non lié ^{b)}
			5	S : couche barrière minérale
			20	F : mélange non lié

a) California Bearing Ration CBR selon SN EN 13286-47

b) La mise en place d'une couche de fondation sans couche d'arrêt doit toujours être vérifiée quant à son admissibilité au regard du droit de l'environnement.

Tableau -66 : Epaisseurs minimales de la couche de fondation (F) et de la couche d'arrêt (S) en cas de transformation liée à la voie ou de faible sollicitation de la plate-forme et de la couche de forme

Les infrastructures qui s'écartent des constructions resp. des combinaisons mentionnées dans Tableau -65 et Tableau -66 doivent faire l'objet d'un accord avec l'OFT en indiquant les justifications correspondantes (voir DE-OCF sur l'art. 25, DE 25, ch. 4.3.12).

La pose d'une couche de barrage et de fondation en sable de gravier PSS répond aux exigences d'étanchéité selon l'art. 3.4 LEaux. Elle est indiquée en cas de modifications importantes (voir la directive OFT/OFEV[1] , ch. 3.1.3). La pose d'une couche de fondation sans couche d'arrêt doit toujours être vérifiée quant à son admissibilité du point de vue du droit de l'environnement.

Sur une roche stable à la filtration ou insensible aux intempéries, la structure peut aussi être constituée uniquement de gravier (voir les explications dans la section 6.2.4 sur la fondation rigide).

Lors du dimensionnement en fonction de la déformabilité, il faut en outre tenir compte de manière appropriée des paramètres suivants de la structure de la chaussée actuelle. Ces paramètres sont basés sur l'expérience, peuvent influencer les exigences futures et/ou donnent une indication sur les conditions existantes :

- le type de seuil,
- l'épaisseur du lit de ballast existant,
- le drainage de la chaussée,
- la durée d'utilisation antérieure ainsi que
- l'intensité de l'entretien.

Le dimensionnement de la déformabilité doit être effectué en tenant compte de la charge future de la voie et de la vitesse de circulation. Si des traverses en béton doivent être posées pour les groupes de charge de voie E3 et E4 avec des vitesses $v \geq 80$ km/h, les valeurs minimales M_{E1} du groupe de charge de voie immédiatement supérieur doivent être respectées sur la plate-forme.

6.2.3 Couche d'étanchéité et de fondation

6.2.3.1 Couche barrière bitumineuse et minérale

Comparer la section 5.2.3.1

6.2.3.2 Couche de fondation en mélange non lié

Comparer la section 5.2.3.2

6.2.3.3 Couche de barrage et de fondation en sable de gravier PSS

Les propriétés du sable à graviers PSS selon le paragraphe 8.2.4 proviennent de la construction ferroviaire. En règle générale, le sable à graviers PSS doit remplir simultanément les fonctions de couche de barrage et de couche de fondation :

- Réduire la déformabilité
- Garantir la stabilité du filtre
- assurer une faible perméabilité à l'eau (valeur $k \leq 10^{-6}$ m/s)
- Réduire les effets du gel

Plus la couche est épaisse, plus elle peut assumer efficacement ces tâches. L'épaisseur normale est de 30 cm. Pour garantir la stabilité du filtre, l'épaisseur de la couche ne doit pas être inférieure à 25 cm. Une épaisseur de couche réduite de 20 cm est par exemple utilisée directement sur la roche non altérée.

Si les tassements attendus du sous-sol - suite à la charge supplémentaire due au sable de gravier PSS et à d'éventuels changements, par exemple de traverses en acier à des traverses en béton - peuvent être tolérés, l'épaisseur du sable de gravier PSS doit être déterminée selon les valeurs sur la plate-forme selon Tableau -66

Si les systèmes de couches décrits dans Tableau -66 ne suffisent plus en fonction du groupe de charge de la voie et de la déformabilité existante sur la plate-forme, des mesures supplémentaires doivent être prises dans le sous-sol.

En cas de tassement trop important, il convient de choisir un matériau de construction léger au lieu du sable de gravier PSS sous une couche de barrage selon le paragraphe 6.2.3.8 .

6.2.3.4 Couche de barrage et de fondation en sable de gravier PSS et géosynthétique

Il existe principalement deux cas de figure pour l'application d'un géosynthétique supplémentaire sur la plate-forme sous une couche de barrage et de fondation en sable graveleux PSS :

- Amélioration de la stabilité du filtre (fonction Séparer
- Amélioration de la capacité portante grâce à l'armature

La variante d'**amélioration de la stabilité de filtration (fonction "séparation")** (en général au moyen d'un géotextile non tissé) est appliquée conformément au paragraphe 6.6 lorsque la seule pose d'une couche de sable de gravier PSS ne permet pas d'obtenir une stabilité de filtration suffisante par rapport au sous-sol. Dans ce cas, un géosynthétique avec fonction de séparation est posé entre le sable de gravier PSS et le sous-sol. Le géosynthétique peut être posé directement sur le sous-sol à grains fins. Le dimensionnement se base sur la norme VSS 70241 (fonction de séparation dans les corps de fer).

La variante d'**amélioration de la portance** (en général au moyen de géogrilles) peut être utilisée lorsque la valeur $\text{CBR} \leq 6 \%$ ou la valeur $M_{(E1)} < 15 \text{ MN/m}^2$ est présente sur la plate-forme. Pour des valeurs $\text{CBR} < 3 \%$, on utilise généralement des géogrilles plus rigides en traction. Dans de telles conditions, il est nécessaire de dimensionner l'utilisation correcte des géogrilles. Pour des valeurs CBR de 3 à 4 %, il est nécessaire d'utiliser des géogrilles répondant aux exigences minimales de la norme VSS 70242. Pour des valeurs CBR de 4 à 6 %, il est recommandé de prévoir des géogrilles avec les exigences minimales selon VSS 70242 en cas de temps humide pendant la fouille ouverte - entre autres pour obtenir une meilleure compressibilité de la couche en place.

Des géosynthétiques supplémentaires pour améliorer la stabilité du filtre (fonction de séparation) doivent être posés sous le géosynthétique d'armature (selon VSS 70242, ch. 12).

6.2.3.5 Couche de drainage et couche barrière en "sandwich"

Cette structure s'applique par exemple à un sous-sol constitué de roches marneuses ou de leurs produits d'altération. Si la mise en place de systèmes de drainage de la chaussée et des pentes permet d'exclure une humidification sous la couche d'arrêt, il est possible de renoncer au profil sandwich et de procéder selon le paragraphe 6.2.3.1.

S'il faut s'attendre à ce qu'une pression d'eau s'établisse sous la couche de barrage relativement imperméable, par exemple dans les tunnels, en cas de niveau élevé de la nappe phréatique ou dans les sols saturés d'eau, une couche de drainage³ doit être installée sous la couche de barrage pour guider l'eau montante vers le drainage latéral. Cette solution est toujours préférable au profilé sandwich. La structure de couche suivante (de haut en bas) a fait ses preuves (épaisseur totale 25 cm) :

- 7 cm AC Rail
- 0 - 3 cm de granulés d'asphalte
- 10 - 15 cm Couche de drainage en gravier concassé 4/32 ou 8/32 ou en mélange non lié
- Géosynthétique avec fonction de séparation

En alternative à la couche de barrage bitumineuse, il est possible de poser une couche de barrage minérale (5 cm). La pose d'un sable de gravier PSS (15 - 20 cm) n'est à prévoir que pour des vitesses $\leq 80 \text{ km/h}$.

³ Il ne faut pas renoncer à la couche de drainage, même pour de petites quantités d'eau, car il existe un risque de surpression de l'eau interstitielle qui, en cas de charge dynamique, peut conduire à une "fondation flottante" ou à des percements dans la couche de barrage avec remontée concentrée de matériaux fins dans le lit de ballast.

La nécessité d'un drainage des deux côtés doit être examinée.

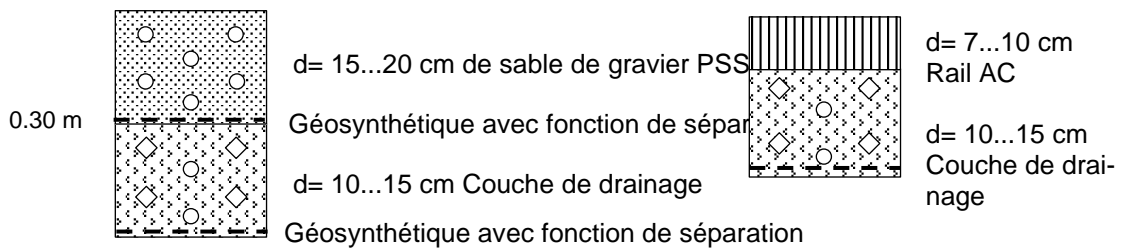


Illustration -67 : Structures de profilés sandwich avec sable à graviers PSS et AC Rail

6.2.3.6 Couche de fondation en matériaux perméables

Lorsque le niveau de la nappe phréatique est élevé ou dans la zone de fluctuation du niveau d'un lac, la couche de fondation doit être perméable à l'eau. Les matériaux appropriés sont les mélanges non liés 0/22 ou 0/45 ou les mélanges de graviers RC correspondants selon VSS 70119 ainsi que les graviers concassés 4/32 ou 8/32 et doivent satisfaire à la perméabilité à l'eau minimale de valeur $k > 10^{-4}$ m/s. Les matériaux selon la VSS 70119 ne garantissent une perméabilité à l'eau suffisante qu'en fonction de leurs propriétés (notamment la répartition granulométrique, la lithologie, la forme des grains) et de l'énergie de compactage. Une couche de barrage doit être posée par-dessus. Si le niveau d'eau maximal est supérieur à la cote de la nivelle, des mesures techniques appropriées doivent être prises. La nécessité et la mise en place d'un géosynthétique à fonction filtrante sont régies par la norme VSS 70125.

Si la stabilité du filtre par rapport au sous-sol est suffisante et si la législation environnementale le permet, il est possible de renoncer à la couche d'arrêt sur la fondation en mélange non lié.

6.2.3.7 Membrane d'étanchéité avec couche de drainage et de protection

Cette structure n'est appropriée que dans des cas spéciaux.

Une membrane d'étanchéité empêche l'eau de surface de pénétrer dans l'infrastructure. La condition préalable à son utilisation est une déformabilité suffisamment faible de l'infrastructure. Une couche de protection est nécessaire au-dessus de la bande d'étanchéité et une couche de drainage en dessous. Les lés d'étanchéité en plastique doivent avoir une épaisseur minimale de 2 mm (SN 564281) et les lés d'étanchéité en bitume une épaisseur minimale de 5 mm. Lors de la pose, les extrémités des lés d'étanchéité doivent être soudées conformément aux prescriptions du fabricant.

La couche de drainage sous la bande d'étanchéité doit pouvoir absorber l'eau du sol et l'évacuer sur le côté. Sinon, une zone humide se forme sous la bande d'étanchéité, ce qui ramollit le sol et peut augmenter sa déformabilité à tel point que le ballast et la bande d'étanchéité "flottent" sur le sol. En règle générale, on pose une couche d'au moins 10 cm d'épaisseur de sable propre à haute perméabilité (p. ex. sable 1/4 mm).

Entre la bande d'étanchéité et le lit de gravier, il convient d'installer une couche de 5 à 10 cm d'épaisseur de sable ou de gravier composé de grains ronds (non concassés) pour protéger la bande d'étanchéité. Sans cette couche de protection, la bande d'étanchéité sera perforée par les grains de gravier.

Les lés d'étanchéité bitumineux conviennent pour le renouvellement des couche d'étanchéité en asphalte. Pour ce faire, on pose une bande d'étanchéité bitumineuse armée d'un géosynthétique de 5 à 6 mm d'épaisseur (géosynthétique pour la fonction d'armature selon VSS 70242). Un géosynthétique à haute perméabilité à l'eau peut être inséré dans le plan comme couche de drainage entre l'asphalte et la bande d'étanchéité.

(géosynthétique avec fonction de drainage selon VSS 670243). Comme couche de protection, une couche de sable de 5 à 10 cm d'épaisseur doit être posée sur la bande d'étanchéité ou le géosynthétique.

6.2.3.8 Matériaux de construction légers

Cette structure n'est appropriée que dans des cas spéciaux.

La structure doit être utilisée sur un sol fortement compressible, en particulier sur des sols tourbeux. Une couche de sable de gravier ne peut pas être posée directement sur de la tourbe, car en raison d'une déformabilité très irrégulière, le sable de gravier s'enfonce ou s'enfonce de manière inégale, même en utilisant un géosynthétique. De plus, le sable de gravier ne peut pas être compacté, il n'est pas possible de réaliser une surface plane et les tassements sont relativement importants. Les matériaux de construction légers envisageables sont l'argile expansée, le verre cellulaire, etc. L'argile expansée a une densité en milieu humide inférieure à 10 kN/m³. L'utilisation de ce matériau entraîne généralement un allègement du support. Une couche d'argile expansée doit être recouverte d'une couche de sable de gravier (matériau selon le paragraphe 8.3) ou d'une couche barrière bitumineuse. En général, on utilise du sable de gravier PSS. Un mélange de gravier 0/22 ou 0/45 doit être mis en place dans des cas exceptionnels, lorsque le niveau de la nappe phréatique est élevé. Cette couche permet une circulation suffisante de l'eau.

La structure suivante a déjà été utilisée avec succès :

- Envelopper, comme un matelas, une couche d'argile expansée ou de verre cellulaire dans un géosynthétique, éventuellement renforcé par un tissu ou un grillage. Le géosynthétique est posé sur la plate-forme et remonté sur les côtés. Après la mise en place du matériau de construction léger, le géosynthétique est posé par-dessus et relié par adhérence.
- Sur ce matelas, on pose une couche de gravier ou d'asphalte.

6.2.4 Couche de transition sur une infrastructure rigide

Dans le cas de ponts ou d'objets existants avec une infrastructure rigide, l'épaisseur totale du lit de la voie ne correspond souvent pas à l'épaisseur réglementaire. Une couche de transition, telle qu'expliquée au paragraphe 5.2.4, fait souvent défaut. L'épaisseur totale de l'assise de la voie se compose de l'épaisseur du ballast et de la couche de transition.

Si l'épaisseur totale de l'assise de la voie n'est pas atteinte, le ballast est davantage sollicité par le trafic. Les travaux de bourrage qui en résultent sollicitent davantage le ballast, ce qui accélère la formation de grains cassés et réduit massivement la durée d'utilisation du ballast et de la chaussée. De plus, cela peut endommager l'étanchéité de l'ouvrage.

Lors de projets d'entretien ou de remplacement de l'infrastructure rigide sous ballast (cf. chap. 7) de lignes existantes, une couche de transition selon Tableau -68 doit être réalisée dans la mesure du possible.

	Groupe de charge de la voie (selon le paragraphe 4.5)		
	E1	E2/E3	E4
Traverses en béton	10 cm	0 cm	0 cm
Traverses en acier/bois	0 cm	0 cm	0 cm

Tableau -68 : Epaisseur de la couche de transition sur une infrastructure rigide en cas de conservation.

Dans des cas exceptionnels, des solutions spéciales doivent être envisagées au cas par cas (p. ex. utilisation de semelles de traverses ou de tapis sous ballast) en concertation avec les services spécialisés compétents. Les services spécialisés règlent la procédure à suivre en cas de solutions spéciales ou si l'épaisseur du lit de ballast est inférieure à 30 cm, en accord avec l'autorité de surveillance.

6.2.5 Structure géométrique

Les mêmes exigences que pour les nouvelles constructions s'appliquent à la conception du nivellement et de la plate-forme lors de l'entretien des voies ferrées (voir le paragraphe 5.2.5). En particulier, les pentes transversales doivent être garanties en cas d'extension ultérieure des voies et d'ajout d'aiguillages sur les voies existantes.

6.3 Gel

Les mesures de protection contre le gel doivent également être examinées au moins pour les groupes de charge de voie E1, E2 et E3, conformément aux critères énoncés dans le paragraphe 5.3 pour les nouvelles constructions :

Des mesures telles que l'augmentation de l'épaisseur des couches ou des plaques de protection contre le gel doivent être prévues s'il existe des indices de problèmes de gel sous forme d'événements documentés (soulèvements de la voie liés à la sécurité par temps froid), d'une mauvaise situation de la voie et/ou d'un entretien accru suite à des cycles de gel/dégel.

Il est possible de renoncer à des mesures si, depuis les derniers épisodes de gel, soit l'infrastructure (pose d'au moins 30 cm de sable graveleux PSS), soit le système de drainage (pente transversale conforme aux règles sur la plate-forme et la couche de fondation ; construction d'une conduite de drainage) a été amélioré et qu'aucun problème de gel n'est apparu depuis lors.

6.4 Evacuation des eaux

6.4.1 Généralités

Il convient d'accorder la plus grande attention au bon fonctionnement de l'évacuation des eaux, même lors de travaux d'entretien. En cas de signes de problèmes de l'évacuation des eaux, l'efficacité de l'évacuation des eaux doit être clarifiée dans le cadre d'une étude géotechnique.

Le type d'infrastructure et le type de l'évacuation des eaux sont interdépendants. Lors d'un projet d'entretien de l'infrastructure, il convient donc dans tous les cas de vérifier également les conditions de l'évacuation des eaux quant à leur adéquation technique et à leur conformité avec le droit de l'environnement. Des coûts de construction plus élevés pour une nouvelle l'évacuation des eaux peuvent être rentabilisés par une durée d'utilisation plus longue (LCC).

Pour planifier le bon type de l'évacuation des eaux, il faut tenir compte de deux conditions marginales importantes :

- la nécessité et la recevabilité légales
- les caractéristiques géotechniques de l'infrastructure et du sous-sol dans le périmètre du projet

Le choix du type ou du système d'évacuation des eaux doit être effectué conformément à la directive OFT/OFEV[1]. Celle-ci s'appuie sur la législation sur la protection des eaux

et offre les bases nécessaires pour déterminer, dans le cadre d'un projet ferroviaire, l'élimination des eaux usées admissible du point de vue de l'environnement. Pour la clarification de l'admissibilité et le choix du système d'évacuation des eaux, il convient de prendre contact suffisamment tôt avec le service compétent pour les questions environnementales.

Les principes appliqués aux nouvelles voies sont également valables pour la conservation des voies. Des conduites de l'évacuation des eaux doivent être prévues lorsque la voie ne se trouve pas sur un remblai, que les eaux météoriques ne peuvent pas s'infiltrer sans dommage et que les fossés ferroviaires ou les cuvettes de l'évacuation des eaux ne sont pas suffisamment efficaces

En ce qui concerne l'évacuation des eaux, outre les aspects centraux de l'infiltration et du rejet selon la directive OFT/OFEV[1], d'autres thèmes environnementaux spécifiques au projet peuvent être pertinents selon le paragraphe 5.4.1.

6.4.2 Exigences techniques

En règle générale, le système de l'évacuation des eaux choisi doit répondre aux exigences techniques suivantes :

- Évacuer l'eau de la zone de la chaussée vers le côté
- intercepter l'eau qui s'écoule latéralement en dehors de la zone de la chaussée
- empêcher l'eau de pénétrer dans le soubassement
- Infiltrer ou évacuer l'eau si possible en dehors de la zone de reprise de charge des traverses et en dessous de la plate-forme.
- fonctionner durablement

Si, d'un point de vue technique et environnemental, une couche d'arrêt n'est pas nécessaire, il est possible de procéder à une infiltration diffuse à travers l'infrastructure pour les groupes de charge de voie E3 et E4.

Les installations de l'évacuation des eaux doivent être construites ou remises en état avant ou en même temps que l'entretien de la chaussée. Dans certains cas, il peut également être opportun de remettre en état ou de réaliser une évacuation des eaux sans réfection de l'infrastructure.

Les conduites de l'évacuation des eaux doivent être placées autour des fondations des poteaux de caténaire.

6.4.3 Modification importante selon l'OEaux

Pour déterminer si le projet de construction correspond ou non à une modification substantielle au sens de l'OEaux, on se base sur les critères du ch. 3.1.3 de la directive OFT/OFEV [1]

6.4.3.1 Procédure en cas de modification substantielle

Lors de l'entretien des voies ferrées, qui constitue une modification importante au sens de l'OEaux, il convient en principe, pour des raisons de protection des eaux souterraines, de poser une couche d'arrêt pour tous les groupes de charge de la voie (E1 - E4). Si, d'un point de vue technique, il est possible de renoncer à la pose d'une couche d'arrêt pour les groupes de charge de la voie E3 et E4, il convient d'examiner si cette solution est admissible du point de vue du droit de l'environnement. Si une couche de barrage est posée, la matérialisation suivante est possible :

- couche d'arrêt bitumineuse (valeur $k < 10^{-9}$ m/s) ou, à défaut, couche d'arrêt minérale (valeur $k < 10^{-(7)}$ m/s) en dehors des zones ou périmètres de protection des eaux souterraines
- Sable de gravier PSS (valeur $k \leq 10^{-6}$ m/s)

Si un nivellement étanche (valeur $k \leq 10^{-6}$ m/s) est mis en place, des eaux usées sont produites selon la définition de la LEaux. Il convient d'évaluer au cas par cas si les eaux usées peuvent être directement infiltrées ou si elles doivent être évacuées. Le choix du système de l'évacuation des eaux doit être déterminé selon la directive OFT/OFEV[1] (admissibilité) et selon l'annexe A8A8 (faisabilité technique). Les drainages doivent être coordonnés avec les extensions futures.

Pour les itinéraires de transport de marchandises dangereuses, il convient en outre d'examiner les mesures découlant de la directive OFT[2] et, le cas échéant, de prendre les mesures nécessaires.

6.4.3.2 Procédure sans modification importante de l'installation

S'il n'y a pas de modification importante, il n'y a pas d'obligation de rendre l'infrastructure étanche ou d'adapter le drainage existant. Une clarification des possibilités d'infiltration ou d'évacuation doit être examinée en ce qui concerne l'amélioration de la LCC, mais elle n'est pas nécessaire.

Pour les lignes de transport de marchandises dangereuses, les mesures découlant de la directive OFT[2] restent réservées.

6.4.4 Dimensionnement

Pour le dimensionnement des systèmes de drainage lors d'un entretien de voies ferrées, les mêmes principes que pour les nouvelles constructions s'appliquent (voir paragraphe 5.4.3).

6.4.5 Contrôle et entretien

Le contrôle et l'entretien des systèmes de drainage lors de l'entretien des voies ferrées sont soumis aux mêmes principes que pour les nouvelles constructions (voir paragraphe 5.4.4).

6.5 Traversées de conduites

6.5.1 Étude de projet

Les exigences relatives à l'étude de projet des traversées de conduites sont les mêmes pour la conservation que pour la construction neuve (voir paragraphe 5.5.1).

En règle générale, une rénovation de l'infrastructure prévue au moyen d'engins de construction de voies nécessite un abaissement préalable ou la pose de lignes. Il est éventuellement possible de renoncer à l'abaissement des traversées de conduites si seules des mesures dans le lit de ballast sont prévues et s'il n'y a pas de problèmes remarquables de position de la voie.

Dans tous les cas, les travaux de traversée de ligne et les travaux de pose de voie prévus doivent être coordonnés avec les services spécialisés responsables.

6.5.2 Traversées appartenant au chemin de fer

Pour les traversées de conduites, la distance entre le sommet du tube et le bord supérieur du seuil doit être supérieure à 1,30 m. Ainsi, un assainissement ultérieur de l'infrastructure pourra être effectué sans obstacles.

La profondeur des traversées de conduites pour le groupe de charge de la voie E4 doit être déterminée au cas par cas par le service spécialisé.

6.5.3 Traversées appartenant au tiers

Les exigences relatives aux traversées de conduites sont les mêmes pour la conservation que pour la construction neuve (voir section 5.5.3).

6.5.4 Version

Un concept de sécurité et de surveillance doit être établi avant chaque exécution.

Lors de la construction ultérieure d'une ligne à ciel ouvert, le fond de la tranchée et le remblai doivent être conçus de manière à ce qu'une infrastructure de voie homogène puisse être posée par-dessus. Si une couche d'arrêt existante est endommagée, elle doit être rétablie à la fin de la construction de la ligne.

Dans le cas d'une réalisation sans tranchée, il convient de privilégier le procédé de forage-pressage horizontal. Pour les sols sans tourbe ni nappe phréatique, le fonçage à la presse (tubes en PP ou en acier) est également possible. Dans tous les cas, une concertation avec le service compétent est nécessaire.

La résistance à la pression au sommet du tuyau en plastique doit être dimensionnée (rigidité annulaire à long terme d'au moins PE100 et rigidité annulaire à court terme d'au moins SN 8).

6.6 Stabilité du filtre

La stabilité du filtre se compose des deux fonctions "séparation" et "filtration" entre deux matériaux adjacents. En présence d'un courant d'eau, c'est la fonction "filtrer" (écoulement de l'eau sans pression) qui est prioritaire, sinon c'est la fonction "séparer" (empêcher le remaniement des grains).

En l'absence d'un courant d'eau, la fonction "séparation" est prépondérante pour la sollicitation dynamique de l'infrastructure par la circulation des trains. Le mélange aux interfaces de la couche de gravier (en général du sable de gravier PSS ou un mélange non lié) est empêché si les critères de filtrage selon VSS 70125 sont respectés. Dans l'infrastructure ferroviaire, le critère initial de Terzaghi a fait ses preuves :

$$\frac{D_{15} \text{ matériau filtrant}}{D_{85} \text{ matériau à grain plus fin}} \leq 4$$

La répartition granulométrique du sable de gravier PSS est déjà optimisée pour la stabilité de filtration par rapport aux sols critiques en matière de filtration. En règle générale, une amélioration de la stabilité de filtration n'est possible, en cas de conservation, qu'avec un géotextile supplémentaire sur la plate-forme, qui sépare les couches voisines (voile de séparation). La mise en place d'une couche de transition minérale supplémentaire n'est pas adaptée à la pratique. L'expérience montre que le sable de gravier PSS ne remplit souvent pas les critères de filtration selon la norme VSS 70125, raison pour laquelle il convient de poser de manière simplifiée - sans preuve des critères de filtration - un géotextile supplémentaire avec la fonction "séparation" selon la norme VSS 70241 sur la couche de fondation. Dans le cas d'un sous-sol moins critique en matière de filtration, il

est possible de renoncer au géotextile supplémentaire si la preuve des critères de filtration est apportée. La pose de sable de gravier PSS avec un géotextile supplémentaire (fonction "séparation", non-tissé de séparation) ou, avec une preuve correspondante, sans géotextile, permet toujours d'obtenir une stabilité de filtration suffisante.

Un géotextile ou un sous-sol stabilisé sans formation d'une couche de fondation en mélange non lié ou en sable de gravier PSS ne remplit pas la fonction de filtre, car sous une charge dynamique, les matériaux fins du sous-sol peuvent le géotextile et remonter dans le lit de ballast.

En outre, la stabilité du filtre doit également être garantie dans la zone des fossés de drainage avec afflux latéral d'eau de pente ou de couche ou dans la zone des eaux souterraines (fonction "filtrer"). Les remaniements granulaires dus au passage de l'eau doivent être empêchés de telle sorte qu'il n'y ait pas de diminution de la capacité d'écoulement.

Il est possible d'installer ici soit un filtre minéral, soit un géotextile (tissu filtrant) qui sépare les matériaux voisins et permet à l'eau de circuler sans pression.

6.7 Tolérances de construction

Les tolérances de construction lors d'un entretien de voies ferrées sont soumises aux mêmes exigences que pour les nouvelles constructions (voir paragraphe 5.7).

6.8 Maintien des banquettes

6.8.1 Généralités

L'accotement constitue la fermeture latérale de la chaussée et forme l'épaule du talus dans le cas des remblais. Il sert de voie de service au personnel et doit également agir comme une barrière naturelle contre la végétation indésirable.

Lors de mesures d'entretien du lit de ballast, il convient d'analyser l'état de la banquette et, si nécessaire, de l'adapter conformément aux prescriptions applicables aux nouvelles constructions (structure perméable ou empêchant la formation de végétation selon les sections 5.8.3 et 5.8.4).

Lors de la mise en place de couches de fondation dans le cadre d'un entretien de l'infrastructure, la perméabilité à l'eau de la banquette doit être assurée. Si celle-ci est déficiente, l'amélioration peut être obtenue par la mise en place de matériaux perméables.

En cas d'utilisation d'engins de construction de voies ferrées, il faut veiller à ce que le décapage ou le remplacement du matériau de l'accotement se fasse au moins jusqu'à la portée des engins de construction de voies ferrées.

D'autres mesures appropriées sont possibles. La construction antisalissure doit alors être présentée séparément ou ne peut peut-être pas être atteinte.

En cas d'intervention dans la zone de l'accotement, l'entretien des espaces verts et les exigences légales (protection des eaux souterraines, protection du paysage, de la flore, de la faune, etc.) Il faut en outre veiller à ce qu'aucune plante problématique ne soit déplacée par l'intervention.

Les fonctions plus étendues de la construction de la banquette, comme l'utilisation pour la stabilisation du remblai ferroviaire, doivent être démontrées séparément.

En cas d'entretien des voies, une banquette praticable d'un seul côté suffit.

6.8.2 Géométrie et matériaux

La géométrie, les matériaux de remblai et la couverture de la banquette sont régis par les sections 5.8.2 à 5.8.4

En complément du paragraphe 5.8.4, l'enlèvement de la couche de nivellement de 10 à 15 cm dans la zone de l'accotement et le remblayage avec du gravier 0/16 cohésif et fortement marneux jusqu'à la hauteur de l'accotement sont considérés comme des mesures de lutte contre la croissance. Les supports d'accotement avec des matériaux en vrac selon le paragraphe suivant sont également considérés comme empêchant la croissance de la végétation.

6.8.3 Élargissement des accotements existants

6.8.3.1 Généralités

Les méthodes suivantes sont disponibles pour l'élargissement des banquettes existantes (liste non exhaustive) :

- Élargissement de la digue par remblayage, éventuellement en combinaison avec des ouvrages de soutènement au pied de la digue
- Élargissement de la banquette avec des ouvrages de soutènement :
 - avec des pieux battus (par ex. des rails) et des éléments longitudinaux préfabriqués
 - avec des lances d'injection (pieux battus injectés en tubes d'acier perforés) et des éléments longitudinaux préfabriqués
 - avec murs de soutènement
 - avec des aménagements verts (zone d'entretien intensif de 5 à 7 m à partir de l'axe de la voie, sans bosquets)
- Élargissement de la banquette avec des supports de banquette (voir aussi la section 6.8.3.2) :
 - Abaissement de la voie combiné à un réaménagement total
 - Décapage du talus par incision
 - Création d'un ouvrage de soutènement en encorbellement
 - Levage de la voie dans les entailles

Une combinaison de matériaux de remblai et d'ouvrages de soutènement ou de supports est surtout utilisée dans les zones de barrage où le barrage lui-même ne peut pas être élargi pour des raisons de proportionnalité ou de propriété foncière.

6.8.3.2 Supports de banquet

Les supports d'accotement sont des mesures de support constructives destinées à sécuriser durablement un ressaut de terrain de faible hauteur s'étendant le long du bord de la surface.

Les supports de banquette sont des constructions telles que des pieux injectés ou des poutres de battage avec des remplissages, ainsi que des éléments de treillis métallique ouverts côté terre et remplis de gravier ou de galets, etc.

Les supports d'accotement ne doivent pas supporter de charges ferroviaires. Ils ne doivent donc être utilisés qu'au-dessus et en aucun cas en dessous de la zone de reprise des charges ferroviaires (45° à partir de la tête de traverse). En outre, la hauteur des supports d'accotement ne doit pas dépasser 1 m. La stabilité du talus dans lequel le support de banquette est fondé doit toujours être garantie.

Les supports d'accotement doivent être conçus de manière à ne pas retenir l'eau et à éviter l'érosion interne. Les éléments des supports d'accotement en acier doivent en outre être protégés contre la corrosion en fonction de la durée d'utilisation prévue.

L'association d'un matériau très perméable à un support fixe et peu encombrant, généralement constitué de corbeilles de pierres ou de cornières, peut présenter des avantages pour le drainage et même être comptabilisée comme valorisation écologique (voir paragraphe 6.8.3.3) si elle est conçue de manière appropriée.

L'espacement des mailles des corbeilles de pierres et des cornières doit être d'au moins 2,5 cm. Pour une construction adaptée aux reptiles, 5 cm sont nécessaires.

Les supports (corbeilles de pierres, etc.) doivent être conçus ou recouverts de manière à éviter tout risque de trébuchement. De plus, les supports ne doivent pas entraver les travaux (d'entretien) sur le lit de ballast et l'infrastructure.

Les supports de banquettes en treillis métallique doivent être mis à la terre conformément à la norme D RTE 27900.

6.8.3.3 Possibilité de traverser pour les petits animaux

En principe, la possibilité de traverser pour les petits animaux tels que les amphibiens et les reptiles ne doit pas être rendue difficile, voire impossible, par la réalisation d'une banquette.

Il faut veiller à ce que les amphibiens et les reptiles puissent traverser, en particulier lorsque le support latéral est continu. C'est pourquoi les systèmes de type barrière ne doivent être utilisés que s'ils sont soit limités à quelques mètres, soit d'autres possibilités de traversée sont créées par des espaces sous le support avec un passage jusqu'au ballast ou par un remblayage régulier de gravier pour franchir le support. S'il a été établi avec les spécialistes qu'aucune espèce de reptile ou d'amphibien n'est présente sur le tronçon concerné, les systèmes de type barrière peuvent également être utilisés.

Si d'autres raisons, comme l'aménagement du paysage ou des aspects liés à la protection des monuments, plaident en faveur d'un aménagement avec un mode de construction non adapté à la petite faune, il convient de procéder à une pesée des intérêts. En outre, la proportionnalité économique doit être prise en compte.

Des grillages en équerre d'une largeur de maille de 5 cm peuvent contribuer à la revalorisation d'habitats avec un remplissage approprié de pierres à gros grains et de cailloux de taille 80/200 et sont considérés comme favorables aux reptiles. Il convient de clarifier avec les spécialistes où une telle mesure est judicieuse et peut également être prise en compte comme mesure de remplacement dans le projet.

Lors du remplissage, il faut veiller à verser de manière plutôt lâche. Les pierres doivent être placées de manière à laisser un espace vide.

6.9 Constructions d'animaux dans la zone de la chaussée

Les terriers d'animaux (blaireau, renard, castor) ne doivent pas nuire à la stabilité de la chaussée et du talus. Ils doivent être tenus à l'écart par des mesures appropriées. L'eau retenue par les castors ne devrait pas se trouver à plus de 2,50 m sous le niveau supérieur du seuil.

6.10 Tunnel

Dans les tunnels existants, l'épaisseur du ballast est souvent insuffisante. Une couche de transition permettant de réduire les sollicitations du ballast selon le paragraphe 6.2.4 fait généralement défaut.

En principe, le respect de l'épaisseur réglementaire du lit de ballast selon Tableau -71 doit également être visé dans le cadre de l'entretien dans les tunnels. Si l'épaisseur réglementaire du lit de ballast n'est pas respectée, il convient d'intégrer dans les réflexions une analyse de l'état actuel (épaisseur du lit de ballast, charge Bt/d, entretien, diagrammes des wagons de mesure, durée d'utilisation, etc.) en tenant compte des évolutions futures du trafic, comme base de décision. Les services spécialisés des entreprises ferroviaires règlent la procédure en accord avec l'autorité de surveillance. Les réserves de levage à projeter se basent sur le RTE 20012 ou le RTE 20512.

Le drainage permanent du fond du lit doit être assuré. Les principes énoncés aux sections **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** et 5.11 s'appliquent.

Traduction automatique

7 Lit de ballast

7.1 Structure

Les épaisseurs minimales du lit de ballast sous le rail déterminant sont fixées dans le tableau -71. Le rail déterminant est celui qui se trouve à la plus petite distance de la surface.

Groupe de charge de la voie		min. épaisseur de la Lit de ballast [m]	Classe de ballast ^{c)}
N1/E1	> 160 km/h	0.35	1 ^{b)}
N1/E1	≤ 160 km/h	0.30	1 ^{a) b)}
N2/E2	> 15'000 Bt/d	0.30	1 ^{a) b)}
N2/E2	≤ 15'000 Bt/d	0.30	2 ou
N3/E3	-	0.30	2 ou RC-I
N4	-	0.25	2, 3, RC- I ou II
E4	-	0.20	2, 3, RC- I ou II

a) pour la voie métrique, possibilité de classe de ballast 2

b) RC-I possible pour le pré-cloisonnement

c) Classes de ballast selon l'annexe A4.2.2

Tableau -71 : Exigences minimales pour l'épaisseur du lit de ballast et la classe de ballast.

L'épaisseur maximale du lit de ballast mesurée à partir du bord inférieur de la traverse ne doit pas dépasser 70 cm. Les raisons en sont les suivantes

- Homogénéité de la superstructure
- Stabilité latérale
- Mesures de conservation futures plus difficiles
- Préservation des gisements de gravier.

Le profil du lit de ballast doit être réalisé conformément aux spécifications du R RTE 22041 ou du RTE 22541.

Là où les envois de ballast en danger des personnes, il faut envisager de passer plus bas. Afin d'éviter l'envol de ballast, le lit de ballast des traverses en béton et en bois doit être abaissé dans le compartiment de la traverse à des vitesses > 65 km/h. Pour ce faire, il convient de balayer plus profondément, de manière standard, à 5 cm du bord supérieur de la traverse et sur une largeur d'environ 2,40 m pour la voie normale et 1,70 m pour la voie métrique (annexe A7A7). Pour les traverses en acier et, d'une manière générale, pour les aiguillages, il n'est pas permis de balayer plus profondément.

Au-dessus d'une infrastructure rigide (tunnels, passages souterrains, ponts, rochers, etc.), une couche de transition est nécessaire sous le ballast pour obtenir une élasticité suffisante (voir les sections 5.2.4 et 6.2.4). La couche de transition peut être constituée de ballast.

La réserve de levage de la voie selon R RTE 20012 ou R RTE 20512 n'est pas comprise dans les épaisseurs ci-dessus.

7.2 Réalisation des sections de ballast dans les voies existantes

Lors de mesures de conservation de l'infrastructure des voies des groupes de charge E1, E2, E3 ou E4, la réalisation simultanée de l'épaisseur pour le lit de ballast est impérative. Si l'épaisseur du lit de ballast n'est pas atteinte, il faut demander une autorisation à l'OFT (voir DE-OCF sur l'art. 25, CG 25, ch. 3.3).

En cas de conservation de voies existantes sans intervention simultanée sur l'infrastructure, l'épaisseur du ballast doit être réalisée en soulevant la voie ou en abaissant le niveau de la plate-forme.

L'épaisseur plus importante du lit de ballast ne peut être réalisée par un abaissement de la surface de nivellement que si son drainage est assuré et que des études géotechniques démontrent qu'une voie ferrée en parfait état sera conservée (voir en outre les paragraphes 6.1 et 6.2.2).

Au-dessus d'une infrastructure rigide (tunnels, passages souterrains, ponts, etc.), des solutions spéciales peuvent être mises en œuvre après concertation et approbation par le service compétent. En cas d'épaisseur inférieure à celle du lit de ballast, une autorisation de l'OFT est en outre réservée (voir DE-OCF sur l'art. 26, CG 26.1, ch. 2.3.3).

Avant de procéder au nettoyage du ballast, il convient de relever l'état actuel concernant l'épaisseur du lit de ballast. Afin d'éviter d'endommager le revêtement existant, le profil longitudinal doit être adapté aux endroits critiques avant les travaux d'entretien.

Il faut veiller à respecter la hauteur minimale du fil de contact selon les DE-OCF à l'art. 44, CG 44.c, ch. 5.2.1 en tenant compte de l'affaissement, de l'influence de la température, des mouvements dynamiques, des tolérances de montage et des réserves de soulèvement de la voie. Dans les cas délicats, il convient de faire appel au service spécialisé compétent.

7.3 Utilisation des matériaux

Les exigences minimales concernant l'épaisseur du lit de ballast et la classe de ballast se basent sur Tableau -71 (voir paragraphe 7.1). Les exigences en matière de qualité sont définies dans la norme SN EN 13450. Les essais complémentaires aux prescriptions de cette norme sont mentionnés dans l'annexe A4A4. Si leur utilisation est autorisée selon Tableau -71, il faut en principe utiliser le ballast RC ou le ballast avec les exigences les plus faibles.

7.4 Évaluation du ballast dans les voies existantes

Le nettoyage du ballast doit être envisagé pour les projets de renouvellement de la chaussée et les projets avec des voies existantes. Seuls les projets pour lesquels un nettoyage du ballast a été exclu lors des analyses du lit de ballast font exception à cette règle.

Les exigences pour un ballast qui n'est pas utilisé sur le chantier initial sont indiquées dans le A4.2. Les exigences pour un ballast utilisé sur le chantier sont minimales et se limitent à la limitation du passage au tamis à 5% à 22,4 mm (voir aussi A5).

Lors du nettoyage du ballast, des mesures appropriées doivent être prises pour éviter d'endommager la planie ainsi que l'étanchéité sur une base rigide.

Dans le cadre de travaux d'entretien, le ballast est préalablement évalué quant à sa capacité de nettoyage. classification de la nettoyabilité. Pour l'évaluation, on part d'un tamisage à sec. La classification suivante a fait ses preuves :

- S1 : Gravier légèrement souillé par des salissures de service et des débris de ballast, facile à nettoyer.
- S2 Gravier moyennement contaminé par les salissures d'exploitation et l'abrasion du ballast, nettoyable.
- S3 : Grave contamination par des salissures de service et des débris de ballast ou par des particules fines emportées latéralement, ne peut plus être bourré et nettoyé efficacement.
- S4 : Graveleux avec des particules fines provenant du bas, ne peut plus être bourré et nettoyé efficacement.

Traduction automatique

8 Propriétés des couches, qualités des matériaux et assurance qualité

8.1 Ballast

8.1.1 Exigences pour le ballast

L'annexe A4A4 ainsi que VSS 70110 et SN EN 13450 décrivent les exigences, les conditions de livraison ainsi que la procédure de réception du ballast. Le conducteur de travaux du chantier veille à ce que le matériau soit conforme aux prescriptions de qualité. En cas de doute, il doit faire prélever des échantillons (annexes A4A4 et A5A5).

La protection des personnes et de l'environnement nécessite l'adoption de dispositions relatives au dépoussiérage du matériel.

Le ballast d'un fabricant ou d'un fournisseur doit être approuvé par le service technique de l'entreprise d'infrastructure concernée.

L'entreprise ferroviaire est seule habilitée à fixer les exigences relatives à la qualité des granulats.

Le ballast doit être constitué de granulats résistants, solides, compacts et non fissurés, dont la surface peut être décrite comme entièrement concassée à 100 %. Les grains doivent être de forme irrégulière, à arêtes vives, cunéiformes et cubiques. L'arête vive ne doit pas être altérée par des passages répétés des grains sur le concasseur ou par l'utilisation de types de concasseurs spéciaux. Les grains fortement arrondis sont assimilés à des grains inadaptés.

Pour le ballast neuf de classe 1, il est strictement interdit de mélanger sciemment des roches de dureté fondamentalement différente, par exemple de la roche moyennement dure avec de la roche dure.

8.1.2 Classes de ballast

Trois classes de ballast neuf et deux classes de ballast RC sont utilisées (voir Tableau - 71). Les classes de ballast doivent satisfaire aux prescriptions de qualité correspondantes en ce qui concerne leurs propriétés techniques (spécifications techniques selon l'annexe A4A4 , VSS 70110 et SN EN 13450).

8.2 Couches d'étanchéité

8.2.1 Application

Les couches d'arrêt doivent en premier lieu assurer une fonction d'étanchéité contre les infiltrations d'eau. Elles peuvent également avoir un effet inhibiteur sur la croissance de plantes indésirables dans la zone de la voie. En fonction de leur fonction, la composition des matériaux et la méthode de pose doivent être adaptées à une structure de couche aussi étanche que possible.

Dans les zones de protection des eaux souterraines (interdiction d'infiltration), une couche barrière bitumineuse d'au moins 7 cm d'épaisseur répond aux exigences d'une étanchéité bitumineuse selon la norme SN 531203. En revanche, les couches barrières minérales ne devraient si possible pas être posées dans les zones de protection des eaux souterraines en raison de leur vulnérabilité.

Pour les nouvelles constructions ou les transformations liées à la construction de routes, une couche d'au moins 0,25 m d'épaisseur de gravier perméable et anticapillaire (mélange non lié selon VSS 70119) doit toujours être présente sous la couche de barrage. Un gravier n'est dit anticapillaire que si la proportion $< 0,063$ mm est de 5 % au maximum.

Le sable de graviers PSS doit être utilisé lorsque, pour des raisons d'exploitation, il n'est possible de poser qu'une seule couche dans les voies existantes. En règle générale, les couches de sable de gravier PSS doivent remplir simultanément les fonctions de couche de barrage, de couche de fondation et de couche de transition (voir 6.2.3.3). En cas de conservation, dans les zones de protection des eaux souterraines (interdiction d'infiltration), une couche de sable de gravier PSS (épaisseur minimale de 30 cm) remplit l'exigence d'étanchéité.

Les valeurs pour l'évaluation de la déformabilité (valeur M_{E1} sur la planie de la couche de fondation, déflexion élastique sur la surface de la couche d'arrêt) se trouvent dans le paragraphe 5.2.1.

8.2.2 AC Rail

Pour la composition de l'enrobé AC Rail 16 et 22 et les caractéristiques du matériau de la couche de barrage finie, c'est la norme VSS 40430 qui s'applique. Cette norme règle les exigences relatives aux couches d'étanchéité bitumineuses dans la construction de voies ferrées. Pour obtenir les propriétés requises, il faut un liant relativement mou, un dosage de liant relativement élevé et une proportion de sable et de filler relativement importante. L'expérience a montré que pour cela, il est nécessaire de faire un essai de pose. Les valeurs requises, telles que la teneur en vides et la pénétration du bitume, doivent être vérifiées sur des carottes prélevées dans la couche achevée.

La norme VSS 40525 régit les exigences en matière de planéité de la couche.

8.2.3 Couche barrière minérale

La couche de barrage minérale est répandue sous forme de "marne du Jura", de "gravier de montagne boueux 0/16", de "marne calcaire concassée 0/16", de "sable de gravier concassé 0/16" ou de "couche d'usure en sable de gravier", surtout dans la construction de routes de marchandises et de routes forestières.

La couche d'arrêt minérale 0/16 est posée directement sur la couche de fondation, laminée de manière stable et badigeonnée. Le matériau est lié à l'eau par de l'argile ou à l'eau par de la chaux, de manière analogue aux couches d'usure pour les routes sans revêtement. Les répartitions granulométriques sont indiquées dans l'annexe A6A6, mais avec un grain maximal de 16 mm. Ces couches d'usure sont constituées d'un matériau de sable graveleux bien étagé, contenant un liant argileux naturel ou du carbonate ($k < 10^{-7}$ m/s).

L'épaisseur habituelle de la couche est de 5 cm. Ces couches d'usure ne sont appliquées que sur une couche de fondation non liée.

La réduction à la granulométrie maximale prescrite est obtenue par tamisage ou concassage, le matériau concassé donnant une meilleure qualité.

8.2.4 Sable à graviers PSS

8.2.4.1 Propriétés des matériaux et assurance qualité

La répartition granulométrique du sable de gravier PSS a été optimisée pour son utilisation comme couche de barrage et de fondation. La répartition granulométrique dans les limites prescrites doit notamment être adaptée à la faible perméabilité à l'eau ($k \leq 10^{-6}$ m/s). Le matériau doit être approuvé par le service technique concerné.

Les exigences, y compris la définition et la réalisation des essais, sont contenues dans l'annexe A2A2 . Le sable à gravier PSS ne doit être utilisé qu'en cas de conservation et dans la qualité et l'épaisseur de couche prescrites (voir paragraphe). 6.2.2

Pour le sable à gravier PSS, les teneurs en eau de livraison fixées par usine de livraison sont applicables.

Pour le sable à gravier PSS, outre ses caractéristiques, les matériaux à grains concassés présentent une meilleure capacité de rétention d'eau que les matériaux à grains ronds. Cela a des répercussions sur la teneur en eau de livraison et la compactibilité.

Il est interdit d'utiliser des mélanges de roches recyclées.⁴

L'assurance qualité du sable à gravier PSS est l'affaire du fournisseur ou de l'entrepreneur. Les indications relatives aux contrôles figurent dans la norme VSS 70119. Le maître d'ouvrage ou la direction des travaux contrôle la qualité sur le chantier au moyen d'échantillons.

8.2.5 Membranes d'étanchéité

La pose de membranes d'étanchéité en plastique, en bitume ou en bentonite n'est autorisée que dans des cas spéciaux lors de l'entretien de voies ferrées existantes. Pour le choix des matériaux, il convient de consulter les services spécialisés de l'entreprise ferroviaire, voir paragraphe .6.2.3.7

8.2.6 Assurance qualité

L'entreprise exécutante effectue à ses frais les essais d'aptitude nécessaires et la pose d'essai. Au moyen de la pose d'essai, elle prouve, en collaboration avec l'usine de traitement, que le matériau proposé garantit l'obtention des valeurs de qualité en utilisant les appareils de pose prévus. Par ailleurs, les normes et prescriptions en vigueur dans le domaine de la construction routière sont applicables.

8.3 Mélanges non liés pour couches de fondation

8.3.1 Application

Les spécifications techniques pour les mélanges non liés destinés aux couches de fondation sont contenues dans la VSS 70119 ou, pour le sable à gravier PSS, dans le présent règlement RTE (voir paragraphe 8.2.4 ou annexe A2A2). Les matériaux suivants sont en principe autorisés :

- mélange non lié 0/45 (résistant au gel)
- mélange non lié 0/22 (résistant au gel)
- mélange non lié 0/16 (résistant au gel)
- les mélanges de graviers RC correspondants (résistants au gel)

Si une perméabilité à l'eau accrue est requise (conformément au chapitre 6.2.3.6), il faut en tenir compte en conséquence lors de la production.

Les mélanges non liés doivent être utilisés lorsque les conditions marginales d'exploitation permettent, lors de la réalisation de la construction, une structure multicouche de la fondation avec couche de fondation et couche de barrage (cas général pour les nouvelles

⁴ Dans le cas des granulats recyclés, l'homogénéité des granulats n'existe pas ou seulement de manière limitée. Il en résulterait une surveillance plus intensive de la qualité, des paramètres de mise en œuvre variables (teneur en eau optimale, densité sèche) ainsi qu'un comportement très variable en ce qui concerne les changements de teneur en eau.

constructions selon le chapitre 5) ou comme seule couche de fondation, pour autant que la législation environnementale l'autorise.

Le grain le plus gros doit toujours être inférieur à un tiers d'une couche pour des raisons de compacité homogène.

8.3.2 Propriétés des matériaux et assurance qualité

Les caractéristiques suivantes s'appliquent à tous les mélanges non liés :

- Plus la taille du grain est importante, plus le risque de ségrégation est élevé.
- Plus la taille des grains est importante, plus la réalisation d'une géométrie plane conforme aux prescriptions est complexe.
- Les couches fabriquées à partir de grains concassés sont plus résistantes et moins sensibles à la déformation que celles fabriquées à partir de grains ronds.

L'assurance qualité du mélange non lié est l'affaire du fournisseur ou de l'entrepreneur. Des indications sur les contrôles figurent dans la norme VSS 70119. Le maître d'ouvrage ou la direction des travaux vérifie la qualité sur le chantier au moyen de contrôles aléatoires.

8.4 Géosynthétiques

8.4.1 Termes et fonctions

Seules les applications des géosynthétiques dans le domaine des charges et du drainage sont présentées ci-dessous.

En principe, on distingue les produits perméables à l'eau (géotextiles et produits apparentés aux géotextiles tels que les tissus, les tricots, les non-tissés, les grilles ainsi que les matériaux composites) et les produits imperméables à l'eau (géosynthétiques). Les normes SN 670090 et SN EN ISO 10318-1 donnent un aperçu des termes et définitions courants.

Dans le cadre de l'étude de projet, il convient de déterminer les fonctions et les éventuelles fonctions secondaires que les géotextiles ou les produits apparentés aux géotextiles doivent assumer dans l'ouvrage (voir SN 670090). Les exigences spécifiques à la fonction, la durée d'utilisation et les influences environnementales doivent être déterminées. Il en résulte des exigences minimales pour le produit.

En résumé, il faut distinguer six fonctions différentes ou combinaisons de celles-ci, qui impliquent des exigences correspondantes pour les géosynthétiques :

Fonction et fonction secondaire	Application	Objectif	Caractéristiques	Exigences
Séparation ^{a)}	Utilisation en cas de sous-sol à grain fin et peu cohésif. Mise en place sous la couche de fondation.	Empêcher le mélange des couches. Augmenter la stabilité du filtre. Le produit est dimensionné pour la fonction de séparation. Il n'est pas possible d'optimiser simultanément la fonction de filtration, ou alors de manière limitée.	Propriétés mécaniques et hydrauliques. Tenir compte de la résistance chimique prendre en compte.	selon VSS 70241 Fonction "Séparation"
Filter	Utilisation dans les tranchées drainantes pour abaisser la nappe phréatique ou pour le drainage des voies.	Empêcher l'érosion interne tout en garantissant la perméabilité à l'eau.	Propriétés hydrauliques et mécaniques. Résistance aux intempéries, tenir compte de la résistance chimique et biologique.	selon VSS 70241 Fonction "Filter"
Drainage	Utilisation en cas de surface rocheuse élevée. Installation en cas de construction "en sandwich" entre la couche de fondation et la couche de drainage.	Empêcher le mélange des couches. Évacuation latérale de l'eau.	Propriétés mécaniques et hydrauliques. Tenir compte de la résistance chimique prendre en compte.	selon VSS 70243
Renforcer et Séparation	Utilisation en cas de sol mou (CBR ≤ 3 %) ou selon l'al.6.2.3.4. Mise en œuvre en dessous d'un remblai ou d'une fondation.	Simplifier l'exécution de la construction. Réduction de la déformabilité et de l'épaisseur de la couche de fondation. Empêcher le mélange des couches. Améliorer la compressibilité.	Propriétés mécaniques et hydrauliques. Résistance aux intempéries, Tenir compte de la résistance biologique et chimique.	selon VSS 70242
Armer	Utilisation en cas de sol mou (CBR ≤ 3 %) ou selon l'al.6.2.3.4. Structure de la couche de fondation en forme de matelas.	Simplifier l'exécution de la construction. Réduction de la déformabilité et de l'épaisseur de la couche de fondation.	Propriétés mécaniques et hydrauliques. Tenir compte de la résistance chimique prendre en compte.	selon VSS 70242
Étanchéité	Utilisation dans les zones de protection des eaux souterraines ou en cas de forte vulnérabilité des eaux souterraines.	Étanchéité des tranchées d'infiltration et banquette pour protéger la nappe phréatique.	Propriétés mécaniques et hydrauliques. Résistance aux intempéries, Tenir compte de la résistance biologique et chimique.	selon SN EN 15382
Tireurs	Utilisation pour ménager un construction ou du ballast.	Augmenter la durée d'utilisation.	Propriétés mécaniques. Tenir compte de la résistance aux intempéries.	selon VSS 70243

a) Séparation et filtrage selon VSS 70241

Tableau -81 : Exigences relatives aux géosynthétiques.

Les exigences fixées pour le produit doivent être définies dans le dossier d'appel d'offres. La fiche technique du produit peut être utilisée à cet effet. (comparer avec SN 670090).

8.4.2 Résistance

La durée d'utilisation est influencée par les conditions météorologiques et par des facteurs chimiques, biologiques et physiques. La durée d'utilisation ainsi réduite doit être prise en compte par des facteurs de réduction (voir SN EN 13250, annexe B).

Pour les préserver, les géosynthétiques doivent être protégés contre l'humidité et les rayons UV en cas de stockage prolongé à l'extérieur (> 1 mois).

Pour une utilisation dans un sol et une nappe phréatique normaux avec un pH presque neutre ($5 \leq \text{pH} \leq 9$), les géosynthétiques présentent en général une résistance suffisante.

La prudence est toutefois de mise dans les cas suivants :

- Utilisation en contact direct avec du béton frais, des couches stabilisées à la chaux et au ciment. Il y règne un milieu fortement alcalin.
- Utilisation dans les tunnels en contact direct avec l'eau de montagne en dehors de la plage de valeurs pH presque neutres (valeur $\text{pH} > 9$ ou valeur $\text{pH} < 5$).
- Utilisation de géosynthétiques avec fonction Drainage sous forte surcharge. La perméabilité diminue au fil du temps.

8.4.3 Produits approuvés et assurance qualité

Pour l'utilisation de géosynthétiques dans la construction ferroviaire, la norme SN EN 13250 ou les normes spécifiques par fonction s'appliquent.

Le contrôle des chantiers est régi par la norme SNR CEN/TR 15019. Les produits du catalogue de produits de l'Association Suisse des Géosynthétiques (ASG) sont automatiquement soumis à un contrôle de qualité.

8.5 Couches de matériaux stabilisés

8.5.1 Application

Le domaine d'application des couches de matériaux stabilisés est en principe comparable à celui de ces matériaux dans la construction routière. La pose d'une couche de matériaux stabilisés directement sous le lit de ballast ou directement sous une couche de barrage n'est pas autorisée. Une fois durcies, les couches stabilisées ont une très faible déformabilité (risque de rupture) et ont tendance à se fissurer. Elles ne sont donc pas appropriées comme mesure contre les remontées de matériaux fins.

La valeur limite de $M_{E1} \leq 150 \text{ MN/m}^2$ définie dans la section 5.2.1 est dépassée sur une planie en matériau stabilisé. De même, la déflexion minimale de $d \geq 40 \text{ } \frac{1}{100} \text{ mm}$ sur une couche barrière bitumineuse ne peut pas être respectée si la couche barrière est appliquée directement sur la couche stabilisée. C'est pourquoi une couche à effet élastique, perméable à l'eau et stable au niveau de la filtration (p. ex. mélange non lié) d'une épaisseur minimale de 0,25 m doit être posée par-dessus une couche de matériau stabilisé.

8.5.2 Types de matériaux et assurance qualité

Les normes et prescriptions en vigueur dans la construction routière s'appliquent.

9 Assurance qualité lors de l'exécution

9.1 Matériel nécessaire

9.1.1 Mélange non lié et sable de gravier

Lors de la pose de gravier, il faut tenir compte d'une surélévation qui prend en compte le compactage du remblai meuble sur la couche solide (voir l'illustration -91).

épaisseur de couche requise après le compactage
= 30 cm



Épaisseur de pose nécessaire pour une surélévation de 20
= 36 cm

Illustration -91 : Exemple d'ajout de hauteur pour l'épaisseur de couche requise après compactage.

9.1.2 Besoin en gravier pour les voies

Le Tableau -92 indique les besoins en mélange non lié et en sable à graviers PSS avec un poids de 2,30 t/m³ en milieu humide, en tonnes par 100 m de voie, pour différentes épaisseurs de couches fermement compactées et différentes largeurs de planches, ainsi que leur portée (Rw) par wagon ferroviaire de 25 t de charge :

Planie large [cm]	Besoin en sable à gravier en fonction de l'épaisseur de la couche avec la portée correspondante (Rw)									
	20 cm [t]	Rw [m]	25 cm [t]	Rw [m]	30 cm [t]	Rw [m]	35 cm [t]	Rw [m]	40 cm [t]	Rw [m]
300	138	18.1	173	14.5	207	12.1	242	10.3	276	9.0
320	147	17.0	184	13.6	221	11.3	258	9.7	294	8.5
340	156	16.0	196	12.8	235	10.6	274	9.1	313	8.0
360	166	15.1	207	12.1	248	10.1	290	8.6	331	7.6
380	175	14.3	219	11.4	262	9.5	306	8.2	350	7.1
400	184	13.6	230	10.9	276	9.1	322	7.8	368	6.8
420	193	13.0	242	10.3	290	8.6	338	7.4	386	6.5
440	202	12.4	253	9.9	304	8.2	354	7.1	405	6.2
460	212	11.8	265	9.4	317	7.9	370	6.8	423	5.9
480	221	11.3	276	9.1	331	7.5	386	6.5	442	5.7
500	230	10.9	288	8.7	345	7.2	403	6.2	460	5.4
520	239	10.5	299	8.4	359	7.0	419	6.0	478	5.2
540	248	10.1	311	8.0	373	6.7	435	5.7	497	5.0
560	258	9.7	322	7.8	386	6.5	451	5.5	515	4.9
580	267	9.4	334	7.5	400	6.2	467	5.4	534	4.7
600	276	9.1	345	7.2	414	6.0	483	5.2	552	4.5

Tableau -92 : Besoins en sable à graviers pour les voies ferrées.

9.1.3 Besoin en ballast par mètre courant de voie

En ce qui concerne la conception du profil du lit de ballast, il convient de se référer aux profils normaux de l'annexe A7A7. Les quantités indiquées dans Tableau - :93 (voie unique) et Tableau - :94 (double voie) contiennent les valeurs minimales théoriques de la section pour la voie normale, respectivement Tableau - :95 (voie unique) pour la voie métrique, et sont mentionnées en fonction du dévers \ddot{u} et de la pente transversale q .

Type de seuil	lit normal				lit renforcé	
	ü = 0 mm		ü = 150 mm		ü = 150 mm	
	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %
Bois						
[m³/m]	1.67	1.75	1.81	1.73	2.15	2.06
[t/m]	2.60	2.75	2.85	2.70	3.35	3.25
Acier (seuil en auge)						
[m³/m]	1.77	1.86	1.92	1.84	2.25	2.17
[t/m]	2.80	2.90	3.00	2.90	3.50	3.40
Monobloc béton B91						
[m³/m]	1.87	1.95	2.00	1.92	2.37	2.28
[t/m]	2.95	3.05	3.15	3.00	3.70	3.60

Tableau - :93 Besoin en ballast pour voie unique
(épaisseur du ballast $d = 30 \text{ cm}$, écartement des traverses $e = 60 \text{ cm}$, 1 m^3 de ballast pèse $1,56 \text{ t}$)

Type de seuil	lit normal				lit renforcé		
	ü = 0 mm		ü = 150 mm		ü = 150 mm		
	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	
Bois							
	[m³/m]	3.29	3.47	4.12	4.31	4.61	4.85
	[t/m]	5.15	5.45	6.45	6.75	7.20	7.60
Acier (seuil en auge)							
	[m³/m]	3.50	3.68	4.33	4.53	4.82	5.06
	[t/m]	5.50	5.75	6.75	7.10	7.55	7.90
Monobloc béton B91							
	[m³/m]	3.64	3.84	4.48	4.69	5.01	5.27
	[t/m]	5.70	6.00	7.00	7.35	7.85	8.25

Tableau - :94 Besoin en ballast pour voie double
(distance entre les voies $a = 3.8 \text{ m}$, épaisseur du ballast $d = 30 \text{ cm}$, écartement des traverses $e = 60 \text{ cm}$, 1 m^3 de ballast pèse 1.56 t)

Type de seuil	lit normal			
	$\ddot{u} = 0 \text{ mm}$		$\ddot{u} = 105 \text{ mm}$	
	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %
Bois	[m ³ /m]	1.69	1.75	1.78
	[t/m]	2.64	2.73	2.78
Acier (seuil en auge)	[m ³ /m]	1.79	1.85	1.88
	[t/m]	2.79	2.89	2.93
Monobloc béton B91	[m ³ /m]	1.79	1.85	1.88
	[t/m]	2.79	2.89	2.93

Tableau - :95 Besoin en ballast voie unique voie métrique
(épaisseur du ballast d = 30 cm, écartement des traverses e = 60 cm, 1 m³ de ballast pèse 1,56 t)

9.1.4 Matériel nécessaire et excavation pour les aiguillages

Pour les transformations d'aiguillages, les cubages d'excavation et les quantités de remplissage sont indiqués dans le Tableau - :96 (voie normale) ou 9-7 (voie métrique). Pour le calcul de la surface de nivellement, une bande de 50 cm a été prise en compte des deux côtés à partir des têtes de seuil.

Type d'aiguillage	Planie [m ²]	Excavation [m ³ vrac] Ameublissement : 25		PSS 30 cm, condens 1 m ³ \triangleq 2,3 t [t]
		profondeur 80 cm	profondeur 50 cm	
EW 185	106	106	67	73
EW 300	133	133	84	92
EW 500	168	168	105	116
EW 900	225	225	141	155
EW 1600	323	323	202	223
DKW 160	120	120	75	83
DKW 185	137	137	86	95

Tableau - :96 Besoin en matériel et excavation pour les aiguillages à voie normale

Type d'aiguillage	Planie [m²]	Excavation [m³ en vrac], Aération : 25		PSS 30 cm, comprimé 1 m³ = 2,3 t [t]	ballast pour traverses en bois 15/26 1 m³ = 1,56 t [t]
		Profondeur 75 cm	Profondeur 45 cm		
EW 60	55	57	37	36	42
EW 80	67	69	45	44	52
EW 130	82	85	56	54	63
EW 185	96	99	65	63	74
EW 250	118	121	79	77	91
EW 350	136	140	92	89	105
EW 500	160	165	108	105	123
EW 700	185	190	124	121	142
EW 900	234	241	158	153	180
EW 1600	282	290	190	184	217
CAMION- NETTE 80	110	114	75	72	86
DKW 106	118	122	80	77	91
DKW 15/245	119	124	82	78	93

Tableau - :97 Matériel nécessaire et excavation pour les aiguillages à voie métrique
(Longueur de l'aiguillage : WA jusqu'à la dernière traverse continue, pente transversale de la plate-forme : 5 %)

9.2 Matériel stockage

Les matériaux de construction doivent être protégés des intempéries par des mesures appropriées. En règle générale, le lieu de stockage doit présenter une surface stabilisée (p. ex. asphalte, béton, dalles étalées).

Lors du transbordement/stockage, il ne faut pas rouler sur les matériaux de construction et les manipuler avec précaution. De même, lors de la réalisation, par exemple, de tas de pierres concassées, les véhicules (chargeuses sur pneus/pelles sur chenilles) ne doivent pas monter, car cela provoquerait une rupture et une abrasion inadmissibles.

Avant la pose, le sable pour graviers PSS doit être protégé des intempéries par des mesures appropriées. A cet effet, les responsabilités du fabricant, du chargeur, du propriétaire du wagon et du transporteur doivent être clarifiées à temps. Il convient également d'éviter tout stockage intermédiaire (importance de la teneur en eau correcte !).

9.3 Contrôles

Le chapitre 9.3.1 donne un aperçu des contrôles nécessaires de l'exécution du matériel et des installations. Les chapitres suivants décrivent les différents contrôles

9.3.1 Aperçu des contrôles d'exécution

Les exigences relatives aux matériaux de construction figurent au chapitre 8 ainsi que dans les normes et les annexes qui y sont citées. Les contrôles nécessaires des matériaux de construction et de la mise en œuvre sont présentés ci-après pour les nouvelles constructions ou les projets d'entretien liés à la construction de routes dans le standard des nouvelles constructions avec des engins de chantier lourds ainsi que pour les projets de construction liés à la voie ferrée uniquement avec accès latéral et frontal (avant-train) ou uniquement avec des engins de chantier légers.

Pour les nouvelles constructions ou les projets d'entretien routier dans le standard des nouvelles constructions avec des machines de chantier lourdes

Le Tableau -98 donne une vue d'ensemble des essais nécessaires dans les nouvelles constructions ou dans les projets d'entretien routier au standard des nouvelles constructions avec des machines de chantier lourdes. Les valeurs caractéristiques et la réalisation des essais sont indiquées dans le chapitre □ ainsi que dans les normes qui y sont citées.

Contrôle	Planum	Planie mélange non lié	Minéraux Couche de barrage	barrière bitumi- neuse
Aptitude du terrain à bâtir	X	-	-	-
Aptitude du matériau de construction	-	X	X	X
Montage d'essai	-	-	X	-
Taux de compactage	-	X	-	X
Capacité de charge	X	X	-	-
Déflexion	-	-	-	X ^{a)}
planéité géométrique	X	X	X	X
Épaisseur de la couche	-	X	X	X
Raccordement au système de drainage	X	X	X	X
Carotte de forage	-	-	-	X

a) Dans la pratique, les alternatives suivantes ont fait leurs preuves : mesure et enregistrement continu de la température de pose du rail AC ; analyse de l'enrobé (répartition granulométrique, teneur en liant, valeurs Marshall) et contrôle de la carotte de la couche posée (degré de compactage, teneur en vides, épaisseur de la couche et pénétration du bitume).

Tableau -98 : Contrôles nécessaires pour les nouvelles constructions ou pour les projets d'entretien routier au standard des nouvelles constructions avec des machines de chantier lourdes.

Pour les projets de construction liés à la voie, uniquement avec un latéral et frontal (avant-tête) ou avec des engins de chantier légers

Le Tableau -99 donne une vue d'ensemble des essais nécessaires pour les projets de construction sur voie ferrée avec accès latéral ou frontal uniquement ou avec des engins de chantier légers. Les valeurs caractéristiques et la réalisation des essais sont indiquées dans le chapitre □ ainsi que dans les normes qui y sont citées.

Contrôle	Planum	Planie Sable à graviers PSS	Minéraux Couche de barrage	barrière bitumi- neuse
Aptitude du terrain à bâtir	X	-	-	-

Aptitude du matériau de construction	-	X	X	X
Taux de compactage	-	X	X	X
Planéité géométrique	X	X	X	X
Épaisseur de la couche	-	X	X	X
Raccordement au système de drainage	X	X	X	X

Tableau -99 : Contrôles nécessaires pour les projets de construction liés à la voie uniquement avec un accès latéral ou frontal ou avec des engins de chantier légers.

9.3.2 Essais de matériaux sur le chantier

9.3.2.1 Généralités

Le fournisseur de matériaux ou l'entrepreneur est payé le prix d'un produit conforme aux prescriptions de qualité. Il doit veiller à ce que les valeurs de qualité minimales convenues soient atteintes lors de chaque livraison sur le chantier et est donc seul responsable de l'assurance qualité de sa marchandise. Il convient notamment de tenir compte des conditions météorologiques lors de la livraison de sable à gravier PSS.

Des contrôles aléatoires sont effectués sur le chantier par le maître d'ouvrage ou la direction des travaux. Après la livraison et la réception des matériaux sur le chantier, celui-ci est responsable des pertes de qualité.

Les tests nécessaires et les valeurs requises pour tous les matériaux sont indiqués dans le plan de contrôle du projet ou dans les chapitres 9 et 9 ainsi que dans les normes qui y sont citées.

9.3.2.2 Contrôles visuels (contrôle à l'entrée)

L'ensemble des exigences de qualité et des contrôles du ballast et des matériaux de fondation sont décrits dans les annexes A2A2 à A6A6 . Ci-dessous, une sélection des plus importantes sur le terrain :

Gravier

Sur le chantier ou à la station de réception, la qualité du ballast livré doit être contrôlée visuellement ou faire l'objet d'un contrôle. L'exécution du contrôle visuel et un éventuel prélèvement d'échantillons doivent être consignés (p. ex. au moyen d'un protocole de contrôle analogue à l'exemple figurant dans l'annexe A5A5 ou d'une saisie numérique correspondante).

Lors de l'examen visuel du ballast livré, il convient de veiller aux points suivants :

- Teneur en graviers non appropriés (normal/beaucoup)
- granulométrie (normale / trop grande / trop petite)
- Forme des grains (normale/arrondie/plaie/à tige)
- Taux de fines (normal/beaucoup)
- Matières étrangères ?
- Le gravier est-il lavé ?

Sable à graviers PSS

- Grain maximal (en général 32 mm)
- Part de titre (en général 8 - 12 %)
- Pas de ségrégation
- Teneur en eau (voir ci-dessous)

Pour que le sable pour graviers PSS puisse être bien compacté et répondre aux exigences après la pose, il doit avoir la bonne teneur en eau. Le sable pour graviers PSS avec la bonne teneur en eau présente les caractéristiques suivantes :

- pas de formation de poussière lors du compactage
- pas d'effet "caoutchouc" lors du compactage
- pas de taches humides sur la surface lors du compactage
- pas de flaques d'eau dans le chariot
- lorsqu'il est écrasé dans la main ("test de la motte"), le sable à graviers reste légèrement bombé, légèrement collant et se brise légèrement. Si le sable pour graviers PSS est trop sec, il n'est pas possible de former des grumeaux ou ils se brisent. Si le sable pour graviers PSS est trop mouillé, le matériau s'écrase.

Mélange non lié

- pas de formation de poussière lors du déchargement/compactage
- Grain maximal (en général 63 mm) Part de titre (en général < 5 %)
- pas de ségrégation

AC Rail

Sur le chantier, les points suivants doivent être respectés :

- Contrôle du bulletin de livraison "Type d'enrobé" (début de la pose)
- Mesure de la température du produit mélangé
- pas de ségrégation

Barrière minérale

- Grain maximal (en général 32 mm)
- Teneur en matériau suffisamment liant (argile/calcaire)
- Teneur en eau conforme aux spécifications du fournisseur

Matériaux d'accotement et de drainage

- Grain maximum
- la forme des grains (p. ex. uniquement des grains ronds pour les gravats d'infiltration, pas de grains ronds pour les gravats de concassage)
- Particules fines (matériau lavé ?)
- Mailles pour les supports de bancs (standard ≥ 2.5 cm, optimisé pour les reptiles ≥ 5 cm)

Système de drainage

- Certificat Q-Plus (bons de livraison ou étiquette sur le tube)
- Type de plastique (PE, PH-HD ou PP, PP-HM), pas de PVC
- Largeur des fentes (8 mm) ou des trous (16 mm)
- Rigidité annulaire
- Les raccords de tuyaux et les tuyaux ont la même rigidité annulaire
- Les raccords de tuyaux (coudes, manchons, etc.) sont fabriqués dans le même matériau que les tuyaux.
- contrôle visuel des tuyaux et des regards pour vérifier qu'ils ne sont pas endommagés
- Déformations des tubes en plastique
- Bon de livraison ou qualité du béton de la semelle

Géosynthétiques

- Contrôle du bon de livraison (y compris comparaison avec l'étiquette sur le produit)

9.3.2.3 Procédure en cas d'écarts (lors du contrôle d'entrée)

Gravier et couches de fondation

Si l'on soupçonne des incohérences dans la qualité des matériaux, la direction des travaux doit organiser un prélèvement commun d'échantillons pour une expertise indépendante. Un échantillon représentatif est prélevé à l'aide d'une pelle (80 kg à différents endroits pour les graviers, 50 kg à différents endroits pour le gravier ou les mélanges non liés) et envoyé à un laboratoire d'essai. En outre, il faut prendre des photos des faits, avec des photos d'ensemble et de détail avec l'échelle respective, et informer les services spécialisés correspondants. En cas de défauts clairement constatés, il faut si possible ordonner le retour à l'usine aux frais du fournisseur. Si le produit défectueux doit malgré tout être installé en raison de travaux urgents, la réception se fait sous réserve. Si cette réserve est confirmée, il doit y avoir au moins une réduction de prix correspondant à la moins-value de la marchandise.

Souvent, les fournisseurs de ballast et de sable à gravier PSS sont liés par des contrats-cadres qui règlent les écarts correspondants en termes de répartition granulométrique, de composition ou de teneur en eau.

Si la teneur en eau se situe en dehors de la plage de tolérance, l'usine de livraison doit être immédiatement informée, en particulier pour le sable à gravier PSS (trop sec ou trop humide), afin que des mesures correctives puissent être prises pour les livraisons suivantes.

Indications lors d'un prélèvement d'échantillons :

- Numéro de wagon (si livré par wagon ferroviaire)
- Usine de livraison
- Distance de pose avec indication du kilométrage
- Date de prélèvement de l'échantillon
- Signature et adresse de contact

Des exemples de protocoles d'essai figurent dans les annexes A2A2 à A6 .A6

Couches d'étanchéité

Seuls les types d'enrobés AC Rail 16 et 22 doivent être utilisés. Si d'autres types d'enrobés sont livrés, ils ne doivent pas être mis en place ou doivent être refusés.

Matériaux d'accotement et de drainage

Si des irrégularités sont suspectées au niveau de la qualité des matériaux, la direction des travaux doit prélever un échantillon représentatif à l'aide d'une pelle (env. 50 kg) et l'envoyer à un laboratoire d'essai.

Système de drainage (conduites et regards)

Les éléments constatés de qualité insuffisante doivent être remplacés en conséquence.

Géosynthétiques

Si la marchandise livrée ne correspond pas aux exigences de la commande, elle doit être remplacée. Les marchandises défectueuses doivent être remplacées.

9.3.2.4 Procédure en cas de divergences (lors de l'installation)

En ce qui concerne les pertes de qualité, il convient de procéder de la même manière que dans le chapitre précédent. Une exécution conséquente des contrôles d'entrée devrait permettre d'éviter autant que possible les pertes de qualité dues aux livraisons de matériaux. Toutefois, des influences liées au processus ou aux conditions météorologiques peuvent également entraîner des pertes de qualité. Les causes les plus connues et la manière de les traiter sont décrites ci-après.

Gravier

Pollution sur le chantier (stockage et manutention des matériaux) : maintenir une distance suffisante entre les différents entrepôts, consolider les sols pour le stockage des matériaux et ne pas mettre en place les sédiments (p. ex. graviers résiduels), mais les mettre dans les déblais. Contrôler l'état de salissure des véhicules de transport avant le chargement et les nettoyer si nécessaire.

Sable à graviers PSS

Une fois livré, le sable à gravier PSS doit être protégé des intempéries. Il convient d'éviter tout stockage intermédiaire. Si, en raison du stockage sur le chantier, la teneur en eau présente des écarts trop importants, il convient de procéder de la manière suivante :

- Beaucoup trop sec : renoncer à la pose ou à l'ajout d'eau homogène (possible uniquement au moyen d'un système de tapis roulant) ou augmenter l'énergie de pose (utilisation d'un engin plus lourd, plus grand nombre de passages de compactage)
- Beaucoup trop humide : pas d'installation du matériau. Jusqu'à présent, les matériaux détremés devaient toujours être retirés et remplacés par de nouveaux matériaux. C'est pourquoi il faut éviter de mettre en place des matériaux détremés. Si une excavation déjà effectuée doit être remplie : Arrêt de l'excavation, réduction de la longueur de construction et utilisation du meilleur matériau disponible pour le remblayage.

Matériaux d'accotement et de suintement

Les matériaux d'accotement et de drainage souillés doivent être remplacés.

Couches d'étanchéité

Lors de la pose, les points suivants doivent être respectés en ce qui concerne les couches d'étanchéité:

- Pas de ségrégation lors du transport, du transbordement et de l'installation
- L'AC Rail doit être fabriqué de la manière la plus étanche possible. Une fois cet objectif atteint, la surface présente un léger enrichissement en liant.

Système de drainage

Les tuyaux défectueux ainsi que les regards ne doivent pas être installés.

Géosynthétiques

Les géosynthétiques ne doivent pas être exposés directement au soleil pendant plus d'une journée et ne doivent pas être soumis à un trafic direct.

9.3.3 Contrôles d'exécution par équipe

Dans la section 9.3.2, le contrôle d'entrée et le contrôle visuel des matériaux pendant la pose ainsi que les zones de repérage ont été présentés. Par la suite, les champs d'ajustement seront mis en lumière lors de la réalisation des différentes couches - ici, en suivant le déroulement de la construction de bas en haut.

9.3.3.1 Travaux d'excavation

Pour tous les travaux d'excavation (lit de ballast, fondation, sous-sol, banquettes, drainage, etc.), la profondeur d'excavation correcte doit être vérifiée en permanence et conignée conformément aux instructions.

Le sol de fondation doit être protégé des intempéries. Selon la méthode de construction, la longueur de la fouille doit être limitée par temps humide et/ou la pose doit être effectuée à l'avant ou latéralement.

La surface détremée de la plate-forme doit être soit enlevée, soit consolidée (laminage d'un peu de gravier ou pose d'une géogrille avec fonction "renforcement").

Lors de tous les travaux d'excavation, il convient de prêter une attention particulière aux raccordements latéraux au point le plus bas de l'excavation. C'est là que se trouvera plus tard l'écoulement primaire de l'eau. C'est pourquoi le matériau se trouvant dans la paroi de l'excavation doit être suffisamment perméable à l'eau. Si ce n'est pas le cas, il doit être retiré ("barre de saleté"). Si cela n'est pas possible, par exemple en raison de la portée limitée de la machine, il faut l'enlever manuellement (p. ex. fourche à ballast).

La vérification de la présence d'une barre d'argile nécessite l'enlèvement de la couche supérieure d'environ 10 à 20 cm sur le côté dans le talus de la fouille, car il s'agit généralement de (nouveaux) matériaux tombés. Il faut donc vérifier la connexion avec le matériau suffisamment perméable à l'aide d'une pelle.

L'écoulement insuffisant de l'eau de la voie est l'une des principales causes de dommages ultérieurs à l'infrastructure.

9.3.3.2 Planum

Si la déformabilité sur la plate-forme a été déterminée sur la base d'une étude géotechnique ou aux endroits remarquables selon les prescriptions de mesure, il n'est pas nécessaire de vérifier la déformabilité sur la plate-forme par des mesures techniques pendant l'exécution. Il faut surveiller visuellement si, contre toute attente, il existe des zones plus mauvaises. Dans ce cas, la portance doit être améliorée.

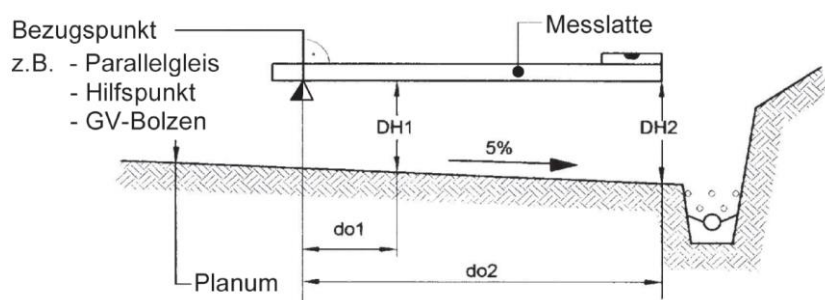
Dans tous les autres cas (c'est-à-dire en premier lieu la construction de nouvelles voies ou la transformation de voies sans certificats de mesure existants), le respect de l'exigence relative à la déformabilité et à l'uniformité de la plate-forme doit être vérifié au moyen d'un essai de pression statique sur plaque ou d'un appareil à poids léger tombant. Dans le cas de sols cohérents, le contrôle peut éventuellement être effectué à l'aide de méthodes alternatives (p. ex. aiguille CBR ou pénétromètre de poche).

Le respect de l'exigence relative à la déformabilité et à l'uniformité de la plate-forme doit être contrôlé conformément à la norme SN 40585. Les valeurs M_E doivent être déterminées sur la base des normes correspondantes (VSS 70317), la valeur $M_{(E1)}$ (première charge) et la valeur $M_{(E2)}$ (deuxième charge) étant déterminées pour les niveaux de charge suivants :

Planum : 0.05 - 0.15 MN/m²

La plate-forme doit toujours être réalisée avec une pente transversale de 5 %. Les éventuelles irrégularités et fissures dues à l'excavation doivent être améliorées par laminage (prévention des poches d'eau).

Le Figure -910 décrit le mesurage de la surface et de la planie au moyen d'un pied à coulisse .



Calcul de la
pente transver-
sale :

$$\frac{(DH2 - DH1) \cdot 100}{do2 - do1} = 5 \%$$

$$DH1 = DH2 - \frac{(do2 - do1)}{20}$$

$$DH2 = DH1 + \frac{(do2 - do1)}{20}$$

Figure -910 : Mesure du planum et de la planie à l'aide d'un pied à coulisse.

9.3.3.3 Géosynthétiques

Lors de la pose de géosynthétiques, il faut veiller à ce qu'ils soient exempts de plis et qu'ils reposent bien sur le support. Pour un assemblage non solide des différentes surfaces de géosynthétiques, il convient de respecter les points suivants

- les chevauchements parallèles à l'axe de la voie doivent être évités
- min 0.30 m de chevauchement perpendiculaire à l'axe de la voie en cas de sol plat
- min 0,50 m de chevauchement perpendiculaire à l'axe de la voie en cas de sol irrégulier
- min 1.00 m de chevauchement perpendiculaire à l'axe de la voie, si le géotextile doit être posé dans l'eau.

En outre, il faut veiller à ce que les non-tissés ne soient pas tirés vers le haut au point bas de la plate-forme, car cela créerait un obstacle à l'écoulement de l'eau.

Pour les géosynthétiques avec la fonction "renforcement", des exigences spécifiques au projet s'appliquent pour la réalisation des liaisons par adhérence.

Pour les géosynthétiques avec les fonctions "filtrer" ou "drainer", il faut veiller à ce que le point le plus bas ne se trouve pas sous la voie, afin d'éviter l'arrosage de la plate-forme par effet de capillarité.

Pour les géosynthétiques avec fonction "étanchéité", il faut veiller à ce qu'ils soient posés par un personnel spécialement formé. Les fabricants ou les distributeurs proposent des formations à ce sujet ou effectuent eux-mêmes la pose. De plus, des instructions de pose sont souvent disponibles.

9.3.3.4 Mélange non lié

Pour les procédés de construction de routes, la fréquence de contrôle des valeurs $M_{(E)}$ s'aligne sur la norme VSS 40585 :

- Plancher : un point de mesure tous les 50 m ou tous les 600 m²
- Planification : un point de mesure tous les 30 m ou tous les 300 m²

Ici aussi, la vérification de la déformabilité sur la plate-forme est nécessaire en premier lieu en cas d'absence de rapports de mesure. Sur la surface, la vérification de la déformabilité est l'état de l'art.

Le respect des exigences relatives à la déformabilité et à l'uniformité de la plate-forme et de la surface doit être contrôlé conformément à la norme SN 640317. Les valeurs M_E doivent être déterminées sur la base des normes applicables (VSS 70317), la valeur $M_{(E1)}$ (première charge) et la valeur $M_{(E2)}$ (deuxième charge) étant déterminées pour les niveaux de charge suivants :

Planie : 0,15 - 0,25 MN/m², Planum : 0,05 - 0,15 MN/m²

Pour savoir si ces valeurs sont remplies, il faut se référer au paragraphe 5.2.1 ou 6.2.1. En outre, le rapport entre la deuxième et la première charge $M_{E2}/M_{(E1)} \leq 2,5$ doit être respecté. En cas de non-conformité, il convient de prendre contact avec le service spécialisé concerné ou de procéder à un recompactage ou de vérifier que la densité sèche est au moins égale à 97 % de la densité Proctor selon la norme SN EN 13286-2.

La couche de fondation doit être posée par couches de 30 cm maximum (compactées).

L'épaisseur correcte de la couche doit être contrôlée en permanence et consignée conformément aux instructions.

Le nivellement (brut) doit être réalisé avec une pente transversale de 5 %. Les exceptions sont les mises en place d'un mélange non lié sans couche d'arrêt superposée dans les voies de niveau inférieur (car il y a souvent une infiltration en surface).

9.3.3.5 Couches d'étanchéité

Pendant l'exécution des travaux, l'entreprise veille à effectuer des contrôles de pose adéquats qui lui permettent de remédier immédiatement à d'éventuels défauts. L'utilisation d'appareils isotopiques s'est avérée appropriée pour mesurer le degré de compactage de la couche d'arrêt bitumineuse ou du sable à gravier PSS immédiatement après le compactage.

Pour la couche de barrage bitumineuse, les valeurs requises telles que le degré de compactage, la teneur en vides, la pénétration du bitume et la proportion de minéraux concassés doivent être vérifiées sur des carottes prélevées dans la couche achevée, comme suit :

Propriété	Norme	Valeur moyenne a)	Valeur limite ^{b)}
Valeur minimale du taux de compactage ^{c)} [%]	VSS 40430, tab. 7	≥ 99	≥ 97
Valeur maximale Teneur en vides [% vol]	VSS 40430, tab. 7	≤ 3	≤ 5
Valeur minimale Pénétration du bitume ^{d)} [¹ / ₁₀ mm]	VSS 40430, tab. 7	≥ 90	≥ 70
Teneur minimale en matières grasses Substances minérales [% masse]	SN 670103-NA, tab. 4	≥ 50	≥ 40

a) Moyenne d'au moins quatre valeurs individuelles d'un tronçon de pose.

b) La valeur limite est une valeur individuelle qui ne doit en aucun cas être inférieure ou supérieure.

c) Cette valeur doit également être respectée dans la zone de l'accotement et de l'épaule de talus afin de freiner la végétation.

d) Liant 160/220 cf. SN EN 13108-1

Tableau -911 : Les quatre exigences principales pour AC Rail 16 ou 22.

Une copie de tous les procès-verbaux d'essai (valeurs de déformabilité, degrés de compactage, carottes de forage, teneurs en eau de livraison, essais d'infiltration ou de pompage, etc.) doit être remise par le chef de projet/la direction des travaux aux services spécialisés concernés.

9.3.3.6 AC Rail

L'installation du rail AC doit être reportée si les conditions météorologiques et d'installation suivantes prévalent :

- lorsqu'un film d'eau fermé se forme sur le support en cas de précipitations
- si la température de l'air est inférieure à +5 °C
- lorsque la surface ou le support est gelé(e), recouvert(e) de glace ou de neige ou ramolli(e).

Si, pour des raisons impératives, le rail AC doit être installé lorsque les températures sont insuffisantes et/ou que les conditions sont défavorables, des mesures particulières doivent être prises. Il peut s'agir de

- Préchauffage du support
- pré-compactage très efficace et/ou équipement de compactage

Pour les programmes de construction où le temps est critique (phase de construction intensive ou autre), il est recommandé de prévoir deux usines de livraison d'enrobés ou deux finisseurs d'asphalte (événements imprévisibles tels qu'une panne technique ou autre).

Attention en cas d'utilisation temporaire (piste de construction ou autre) : Il faut veiller à ce que les sollicitations soient raisonnables.

Les joints de travail/surfaces de raccordement doivent être préparés.

L'épaisseur correcte de la couche ainsi que la température de pose doivent être contrôlées en permanence et consignées conformément aux instructions.

Le nivellement doit être réalisé avec une pente transversale de 3 %.

9.3.3.7 Sable à graviers PSS

Les couches jusqu'à 30 cm sont posées en une seule couche. Les couches plus importantes sont posées en deux couches, la couche inférieure n'étant souvent compactée que de manière statique en raison de sa faible portance sur la plate-forme.

L'épaisseur de couche nécessaire du sable à graviers PSS résulte des valeurs de déformabilité définies au préalable par des études géotechniques ou déterminées pendant la construction. Une vérification de la déformabilité à la surface de ce dernier est donc inutile ou non significative en raison de la pression de l'eau interstitielle qui s'accumule et doit être effectuée au plus tôt 12 heures après la pose. Le contrôle du degré de compactage au moyen d'un appareil isotopique a donc fait ses preuves.

Pour cela, la teneur en eau optimale M_{opt} [%] et la densité de Proctor DD_{opt} sont déterminées dans l'essai Proctor selon SN EN 13286-2. En Suisse, les dispositifs d'essai définis dans l'annexe A2A2 doivent être utilisés pour l'analyse du sable à gravier PSS.⁵

La teneur en eau optimale est importante pour la compactibilité. Pour contrôler le degré de compactage, la densité sèche DD par rapport à la densité Proctor est déterminante. Le quotient des deux densités sèches est appelé degré de compactage PR :

$$\%PR = \frac{DD}{DD_{opt}} \%$$

DD = Densité à sec

DD_{opt} = Densité de Proctor selon SN EN 13286-2

Pour cela, une série de mesures avec 10 mesures de contrôle est nécessaire par 500 m de couche de protection installée.

Les mesures doivent être effectuées à 10 cm en dessous de la surface de la couche de sable graveleux. Le taux de compactage moyen ne doit pas être inférieur aux valeurs limites suivantes :

- 95 % pour les transformations effectuées à intervalles réguliers
- 97 % pour les transformations avec une voie mise hors service en permanence

Pour le **taux de compactage minimal**, aucune valeur individuelle ne doit être inférieure aux limites suivantes :

- 90 % pour les transformations effectuées à intervalles réguliers
- 92 % pour les transformations avec une voie mise hors service en permanence

Pour le nombre admissible de valeurs individuelles (E) par tronçon de contrôle, qui peuvent se situer dans les plages $90 \% \leq E < 95 \%$ (transformations dans l'intervalle entre les équipes) ou $92 \% \leq E < 97 \%$ (voies mises hors service en permanence), les règles suivantes sont applicables :

- au maximum $\frac{1}{3}$ des valeurs pour 10 mesures ou plus
- au maximum 2 valeurs pour 5 - 9 mesures et
- aucune valeur si moins de 5 mesures

Si ces prescriptions sont respectées, la section de contrôle est homogène et suffisamment compactée. Si le compactage est insuffisant, il convient d'en déterminer la cause (voir plus loin).

Il convient de noter que le sable de gravier PSS n'est pas un matériau idéal en termes de compactibilité en raison de sa répartition granulométrique particulière et de la teneur

⁵ La CFF SA les a définies en collaboration avec l'Association des laboratoires d'essais de matériaux de construction accrédités (VAB). Les dispositifs d'essai doivent être valables pour tous les mélanges, avec de légères différences dans la réalisation des essais.

en eau optimale accrue qui en découle. Toutefois, cet inconvénient peut généralement être compensé par une augmentation de l'énergie de compactage.

L'adéquation des appareils de compactage doit être clarifiée par des essais sur le terrain. Quelques indications figurent dans la norme SN 640585. Les engins de compactage suivants sont adaptés, en fouille ouverte, à la mise en place de 36 cm de sable à graviers (déversés en vrac) :

- Appareils de pression et de pétrissage
 - Rouleaux à grilles et à pneus d'un poids minimal d'environ 15 tonnes⁶
 - Rouleaux de tranchée d'un poids minimal de 1,5 t⁷
- Appareils vibrants :
 - Vibrateurs à plaques réversibles d'un poids minimal de 0,5 t
 - Rouleaux duplex d'un poids minimal de 1 t
 - Rouleaux tandem d'un poids minimal de 2 t
- Rouleaux combinés d'un poids minimal de 4 t

Pour atteindre les valeurs de compactage prescrites pour 30 cm de sable de gravier PSS (compacté), le nombre suivant de passages avec l'engin de compactage est généralement nécessaire :

- | | |
|--|-------------------------------|
| – pour les rouleaux vibrants (2,5 t-5 t) | 4 et 1 avec le vibreur éteint |
| – pour les rouleaux pneumatiques (env. 8 t) | 6-8 |
| – pour les vibreurs multiplaques de la Machine de pose de voie Pusal | ≥ 4 |

Le compactage du sable à gravier PSS sur des sols mous est problématique. En particulier avec des appareils vibrants, des valeurs de compactage insuffisantes sont régulièrement mesurées sur des sols mous sur des couches d'étanchéité de fondation posées en une seule couche. Si possible, il faut prévoir une pose en plusieurs couches avec une énergie de compactage croissante vers le haut (éventuellement un rouleau plus lourd).

Si le sable à graviers compacté PSS doit présenter une épaisseur de couche de 35 cm à 40 cm, il doit être mis en place en deux couches, ce dont il faut tenir compte lors de la planification. Si la valeur M_{E1} est faible ou si la déformabilité est très importante, la couche inférieure ne doit être traitée qu'avec un engin de compactage léger ou, dans le cas de la machine pour la construction de voies ferrées Pusal, avec un nombre de passages plus faible et/ou une vitesse plus élevée.

Le meilleur effet de compactage est obtenu lorsque la teneur en eau de pose correspond à la teneur en eau optimale. La compactibilité diminue très rapidement avec une teneur en eau plus élevée. Pour des raisons pratiques, la teneur en eau de pose doit se situer dans une plage de tolérance comprise entre M_{opt} et $(M_{opt} - 2 \%)$.

La procédure à suivre lorsque la teneur en eau du sable de gravier PSS n'est pas optimale est la suivante :

Le sable de gravier PSS est un peu trop sec :

- en premier lieu, augmentation de l'énergie de pose par un plus grand nombre de passages de compactage ou par l'utilisation d'un engin plus lourd / de plusieurs engins

Le sable de gravier PSS est un peu trop humide :

⁶ Présuppose une valeur M_{E1} élevée correspondante ou une faible déformabilité sur la plate-forme.

⁷ Nécessite un laminage une fois le compactage effectué.

- en premier lieu, réduction du compactage dynamique / arrêt de la fonction vibratoire du compacteur. Si possible, utiliser des engins de compactage plus légers. Si possible, ne pas réduire le nombre de passages de compactage.

Le sable de gravier PSS est trop humide :

- pas de compactage dynamique, réduction du nombre de passages de compactage

Les cas "trop sec" ou "trop humide" devraient être évités lors de la production (cf. section 8.2.4), lors du contrôle d'entrée sur le chantier (cf. section 9.3.2.2) et lors de la manipulation correcte sur le chantier (cf. section 9.3.2.4).

La procédure à suivre en cas de compactage insuffisant ou de déformation trop importante est la suivante :

L'épaisseur de la couche de gravier est trop faible :

- Augmenter l'épaisseur de la couche

L'énergie de compression est trop faible :

- Augmentation du nombre de passages de l'appareil de compactage.
- Réduire la vitesse de travail du compacteur à 4 m - 6 m par minute
- Ajuster ou modifier la fréquence du vibreur
- utilisation d'un engin de compactage plus lourd et plus efficace (rouleaux pneumatiques lourds)
- Avec la machine de pose de voies ferrées PUSCAL, il faut veiller à ce que les vibreurs reposent bien à plat et de tout leur poids en permanence sur la couche de gravier.

Le sous-sol est trop mou et oppose une résistance trop faible à l'énergie de compactage :

- L'épaisseur de la couche de gravier doit être augmentée et/ou un géosynthétique ayant la fonction de "renforcement" selon VSS 70242 doit être mis en place sous la couche de gravier.

L'épaisseur correcte de la couche doit être contrôlée en permanence et consignée conformément aux instructions. Le nivellement doit être réalisé avec une pente transversale de 5 %.

9.3.3.8 Barrière minérale

Il faut veiller à ce que la teneur en eau soit correcte, ce qui, dans le cas d'un matériau argileux, entraîne une irrigation suivie d'un temps de repos. Les éventuelles dépressions peuvent être comblées au moyen de sable de concassage 0/4 du même matériau (sablage).

L'épaisseur correcte de la couche doit être contrôlée en permanence et consignée conformément aux instructions.

Le nivellement doit être réalisé avec une pente transversale de 5 %.

9.3.3.9 Compactage du pré-colmatage

Lors de transformations avec remplacement du ballast, une couche inférieure de ballast (pré-colmatage) doit être mise en place après l'enlèvement de la couche de nivellement et avant la pose des traverses, puis compactée de manière homogène et optimale avec des appareils appropriés. Le compactage avec un rouleau vibrant de 2,5 à 4 tonnes en deux passages, l'un avec et l'autre sans vibrations, a fait ses preuves. Avec l'appareil de compactage de la machine de construction de voies ferrées PUSCAL, il faut au moins deux passages pour obtenir un compactage suffisant.

Habituellement, le ballast préliminaire s'étend jusqu'à environ 10 cm sous la couche finale. Si des épaisseurs de ballast plus importantes sont nécessaires, il faut veiller à ce que le ballast soit mis en place et compacté par couches de 30 cm maximum.

Pour les groupes de charge de la voie N1, N2, N3 et N4, ainsi que E1, E2 et E3, la surface du ballast préliminaire se situe à 0,10 m en dessous de la hauteur théorique du bord inférieur des traverses et est parallèle à celle-ci. Pour le groupe de charge de voie E4, la couche inférieure de ballast se situe à environ 0,05-0,07 m en dessous de la hauteur théorique du bord inférieur des traverses.

Pour les traverses en acier avec de longues calottes (S220), l'épaisseur de pose de la pré-cloison doit être d'au moins 30 cm. Pour les traverses en acier et les traverses avec des capuchons de sécurité, des sillons doivent être creusés dans la pré-cloison afin de faciliter le montage.

La largeur de la pré-barrière doit dépasser le seuil d'au moins 0,50 m de chaque côté.

Les tolérances suivantes de la planéité compactée du ballast préliminaire doivent être respectées pour les groupes de charge de la voie N1/E1 et N2 :

- hauteur dans l'axe de la voie ± 2 cm
- Pente transversale dans la zone de seuil $\pm 0,5$
- Largeur à partir de l'axe de la voie ± 5 cm
- Planéité dans toutes les directions : Ecart local à partir de la barre de mesure de 3 m de ± 3 cm max.

9.3.3.10 Mise en ballast

Un compactage du ballast au-dessus de la pré-comblée n'est pas approprié, car celui-ci ne doit présenter si possible que des contacts grain à grain. Un enfoncement, un compactage des compartiments de seuil ou autre permet d'éviter que des tassements initiaux trop importants ne se produisent.

9.3.3.11 Drainage

- Pour la voie normale, il faut respecter une distance maximale de 1,40 m par rapport au rail extérieur (portée de la machine de pose de voie Puscal pour un raccordement propre au nivellement et à la plate-forme).
- Les conduites doivent être formées en ligne continue, sans coudes. L'introduction des tuyaux dans les chambres de contrôle doit se faire en ligne droite et sans changement de direction gênant la visibilité.
- Les tuyaux de drainage doivent être recouverts de demi-coquilles avant la mise en place du béton de la semelle.
- Les tuyaux doivent être installés en respectant strictement le marquage au sommet ou la position correcte des orifices d'entrée vers le haut.
- Le cadre du couvercle de la gaine et le couvercle de la gaine doivent être montés de manière à s'adapter au cône avec une feuillure de tuyau en ciment. Le cadre du couvercle de la gaine doit être scellé dans le mortier.
- Le côté biseauté du cône du regard doit être installé perpendiculairement à l'axe de la voie ; si l'espace est insuffisant (distance entre le drainage et l'axe de la voie $< 2,25$ m), il doit être installé longitudinalement par rapport à l'axe de la voie.
- Les parties inférieures des puits doivent être posées sur une semelle horizontale en béton (béton de fondation/de fond) C 12/15.
- Lors de l'installation d'une échelle, celle-ci doit être montée de manière à ce que la sortie s'effectue en direction de l'accotement ou le long de l'axe de la voie.

9.3.3.12 Banquets

Pour la voie normale, l'excavation des matériaux de la banquette doit se faire jusqu'à 1,40 m du rail extérieur (portée de la machine de pose de voie Puscal pour un raccordement propre à la nivelle et à la plate-forme).

9.3.4 Carrossabilité des différentes couches

Les géosynthétiques ne doivent pas être directement carrossables ; il faut respecter un recouvrement minimum de 0,30 m.

9.3.4.1 Planum

Il est interdit de circuler sur la plate-forme avec des engins à chenilles ou à pneus sans avoir prouvé que la déformabilité est suffisamment faible. Seuls les engins de compactage et les petites pelles à chenilles adaptés à la déformabilité existante sont autorisés.

9.3.4.2 Planie

Dans le cas d'une nouvelle construction, la planéité de la couche de fondation peut, en règle générale, être parcourue par les véhicules à pneus et à chenilles courants, conformément à la déformabilité existante.

En cas d'entretien, la couche de fondation peut être parcourue par des véhicules de chantier légers, c'est-à-dire des véhicules à chenilles avec une pression maximale au sol de 80 kN/m² ou des véhicules à pneus avec une charge maximale par essieu de 2 tonnes. L'utilisation de véhicules à pneus ou de véhicules à chenilles avec une pression du sol plus élevée nécessite la preuve d'une déformabilité réduite en conséquence.

9.3.4.3 Pré-cloisonnement

Les véhicules pneumatiques d'une charge maximale par essieu de 5 tonnes ou les véhicules à chenilles d'une pression maximale au sol de 320 kN/m² peuvent circuler sur le pré-gravillonnage.

Annexe A1 - A10 (Généralités)

A1 Eléments de décision pour la planification de l'entretien de la chaussée, exemple des CFF

A1.1 Acquisition de bases

Les bases servent à l'expert géotechnique et à l'auteur du projet. Elles doivent être obtenues de manière aussi complète que possible au cours de la première phase de planification et être intégrées dans la demande d'étude géotechnique.

A1.1.1 Liste de contrôle pour l'acquisition des bases

- Type de voie, charge de trafic, prévisions de trafic et vitesse des trains (état actuel, futur)
- type de superstructure existant et prévu
- fondation existante et couches de protection
- Type d'entretien et frais d'entretien
- Art. et emplacement des dommages (déformations, remontées de boue, gel)
- Diagrammes des chariots de mesure
- Résultats d'études préliminaires et d'excavations du sol de l'environnement proche (consultation de l'ingénierie, de l'architecture, du courant porteur, de l'énergie ainsi que des archives géotechniques)
- Tracé existant et prévu (déplacement prévu de voies et d'aiguillages)
- Ouvrages existants et prévus dans la zone de la voie (drainage, traversées, passages)
- Clarifier la capacité d'infiltration (surfaces végétalisées, valeur k selon Darcy)
- Possibilité de raccordement pour l'évacuation des eaux (rejet dans les eaux de surface, rejet dans les égouts) et, le cas échéant, accord de l'autorité compétente
- SIG Environnement CFF (zone de protection des eaux souterraines, etc.)
- État et mesures de conservation exécutées sur la voie voisine, mesures de conservation prévues
- les directives opérationnelles et les conditions marginales pendant les travaux de maintenance

A1.2 Expertise géotechnique

Sur proposition du service d'entretien responsable, l'ingénieur chargé du projet fait établir une expertise géotechnique pour chaque projet d'entretien de la chaussée. L'expertise a une structure standardisée et contient des recommandations concernant les mesures de conservation de l'infrastructure et des installations de drainage, si possible avec des variantes.

L'expertise géotechnique donne des informations sur la fonctionnalité de la voie en ce qui concerne le ballast, l'infrastructure, le sous-sol et le drainage conformément aux chapitres correspondants en cas de conservation. Le non-respect d'une ou de plusieurs prescriptions réglementaires ne signifie pas que la partie de l'installation concernée doit être assainie. Ce qui est déterminant, c'est de savoir si la fonctionnalité est suffisante ou si elle suffit au moins pour une autre durée d'utilisation de la superstructure. Si l'étude géotechnique conclut par exemple que l'infrastructure existante ne suffit plus pour une prochaine durée d'utilisation de la superstructure ou qu'elle entraînerait une réduction

inadmissible de la durée d'utilisation, des mesures doivent être prises au niveau de l'infrastructure conformément au chapitre **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

La décision d'investissement du gestionnaire de l'infrastructure, basée entre autres sur l'expertise géotechnique, peut donc s'accommoder d'une réduction de la durée d'utilisation de la superstructure - en particulier dans le cas de transformations prévues dans un avenir proche, qui font apparaître un investissement plus important comme non approprié. De plus, des conditions cadres de construction plus difficiles, comme par exemple un chantier difficilement accessible dans une entaille rocheuse avec de la roche haute et sensible aux intempéries, peuvent conduire à ce que la décision d'investissement s'écarte exceptionnellement des recommandations de l'expertise géotechnique.

Le service d'entretien responsable du projet de conservation met à la disposition de l'expert géotechnique le personnel nécessaire à la réalisation des travaux sur le terrain et organise le service de sécurité. Dans les cas simples, le service d'entretien compétent réalise l'expertise géotechnique avec son propre personnel.

A1.3 Projet d'entretien de la chaussée

A1.3.1 Concept "Entretien de la chaussée "

Le concept "Entretien de la chaussée" doit être élaboré en même temps que le programme d'entretien de la chaussée. Il est approuvé en même temps que ce dernier lors de la discussion technique annuelle sur l'entretien de la chaussée au début de X-2 (X= année d'exécution des travaux) entre le service spécialisé et les ingénieurs chargés du projet. Dans le concept "Entretien de la chaussée", les éléments suivants doivent être représentés dans un profil longitudinal schématique analogue à l'exemple figurant à l'annexe A1.5 ou sur la base de la représentation graphique des relevés de terrain et des recommandations du rapport géotechnique :

- topographie (digue, plaine, entaille, entaille)
- les contraintes géométriques
- Fréquences d'entretien des dix dernières années ou évolution de l'entretien depuis la dernière rénovation complète
- État de la voie selon le diagramme du wagon de mesure
- Recommandations du rapport géotechnique
- les zones de rénovation prévues (infrastructure, drainage, agrandissement du lit de ballast, banquettes).

A1.3.2 Projet de construction

L'instance d'approbation pour le projet partiel "infrastructure et drainage" est le service compétent pour la chaussée. L'étendue du projet doit permettre d'estimer les coûts avec une précision de $\pm 10\%$, ce qui correspond à une étendue de projet selon la norme SN 508103. Le projet de construction contient au moins

- le plan de situation,
- les profils normaux,
- les profils transversaux critiques,
- le rapport technique, et
- le devis.

Le plan de situation doit représenter les digues, les coupes, les zones protégées, les conduites existantes et projetées, les puits, les exutoires, etc. Si aucun profil en long n'est établi, les rapports de pente et de profondeur doivent être reportés sur le plan de situation. Pour chaque tronçon homogène, un profil normal doit être construit avec

l'infrastructure, le drainage, les dimensions géométriques et les détails techniques de construction. Les profils transversaux critiques sont, entre autres, les profils transversaux au point le plus haut et au point le plus bas du drainage.

Le rapport technique complète les déclarations des plans, contient la justification, la description et l'explication des différentes parties du projet d'entretien de la chaussée, les conditions marginales d'exploitation pendant l'exécution, l'évaluation des possibilités d'infiltration, des conditions d'écoulement et des zones protégées ainsi que les coûts.

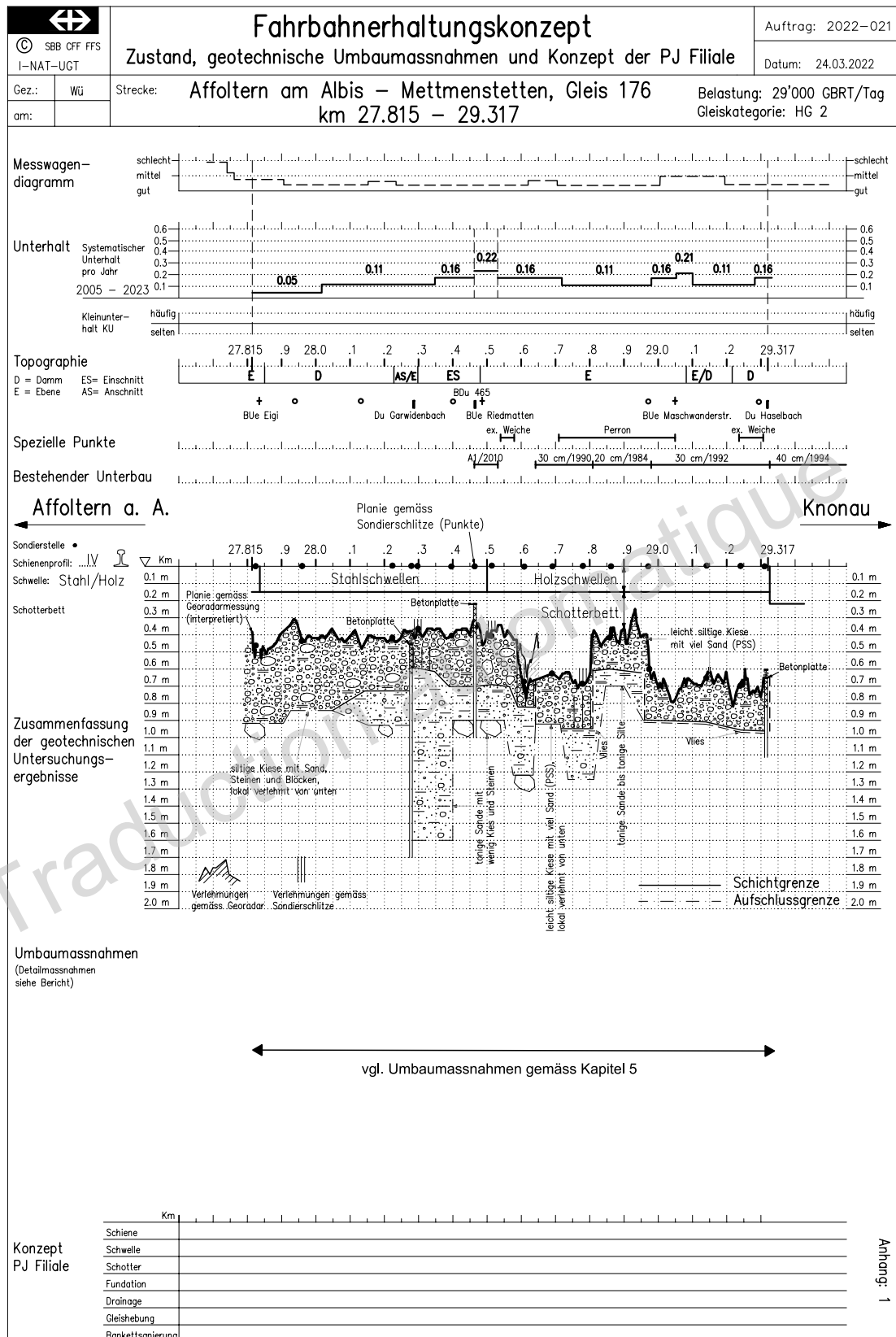
Le guide de l'examen axé sur la sécurité A (SIOP A) guide la direction du projet à travers le processus et présente les exigences en matière de contenu pour un dossier complet. La liste de contrôle SIOP A "Infrastructure" permet à l'auteur du projet de contrôler son projet.

A1.4 Exécution et contrôles après la mise en service

Lors de la mise en place de couches de protection, des échantillons de matériaux doivent être prélevés, la teneur en eau de la mise en place doit être déterminée et des mesures du degré de compactage doivent être effectuées.

Dans la représentation graphique de la superstructure, le lit de ballast (km, épaisseur en cm, année de nettoyage, année de renouvellement) et l'infrastructure (km, type d'infrastructure, épaisseur en cm, année de pose) doivent être inscrits en fonction de leur position.

A1.5 Exemple de concept d'entretien de la chaussée



FigureA11 : Exemple de concept d'entretien de la chaussée

A2 Spécification technique des matériaux non liés Mélanges et sable de gravier PSS pour couches de fondation

A2.1 Objet

Ces spécifications définissent les exigences de qualité des matériaux rocheux pour les couches de fondation.

On distingue les matériaux suivants : mélange non lié et sable de gravier PSS.

A2.2 Test d'aptitude

Les exigences relatives aux matériaux et à l'assurance qualité sont mentionnées dans la norme VSS 70119 pour les mélanges non liés et, en grande partie, pour le sable à gravier PSS.

L'essai d'aptitude permet d'apporter la preuve que les caractéristiques des matériaux répondent aux exigences de qualité. Pour l'essai d'aptitude, le laboratoire d'essai, désigné par l'entrepreneur ou le fournisseur de sable à gravier en accord avec l'entreprise ferroviaire, prélève les échantillons nécessaires sur le lieu de préparation ou de stockage. Le prélèvement d'échantillons s'effectue conformément à la norme SN EN 932-1 et doit faire l'objet d'un procès-verbal en présence des parties.

L'essai d'aptitude doit être effectué ou répété en cas de modification des propriétés, du gisement ou de la méthode de production, mais au moins tous les 5 ans. Les coûts de l'essai d'aptitude sont entièrement à la charge de l'entrepreneur ou du fournisseur de gravier.

A2.3 Mélanges non liés

Les mélanges non liés doivent être perméables à l'eau et résistants au gel (GW ou GP selon SN EN ISO 14688-2). Les exigences sont conformes à la norme VSS 70119. En l'absence de preuves ou si les exigences ne sont pas remplies (voir paragraphe 8.3.1), le matériau ne doit pas être utilisé, car il faut s'attendre à une réduction de la durée d'utilisation de l'infrastructure.

Sont notamment autorisés les mélanges non liés (à base de granulats naturels) ou les mélanges de graviers RC P, les mélanges de graviers RC B ainsi que (de manière limitée) les mélanges de graviers RC A (à base de granulats recyclés), respectivement avec une répartition granulométrique de 0/16, 0/22 ou 0/45.

A2.4 Sable à graviers PSS

Le sable à graviers PSS est un mélange non lié, résistant au gel, relativement imperméable à l'eau, composé de granulats résistants et solides et présentant une répartition granulométrique continue.

Le sable à gravier PSS est un matériau naturel qui est préparé et dosé. Il est utilisé lorsque, pour des raisons d'exploitation, il n'est possible de poser qu'une seule couche dans les voies ferrées existantes.

Les exigences se basent sur les normes SN EN 13242 et SN EN 13285. Il faut également tenir compte des normes SN EN 932-1, SN EN 933-1, SN EN 933-2, SN EN 933-3, SN EN 933-5, SN EN 1097-2, SN EN 1097-5, SN EN 13286-1, SN EN 13286-2, SN EN 13286-47, VSS 70321 et SN EN ISO 17892-11. Si les preuves font défaut ou si les exigences ne sont pas remplies (voir paragraphe 8.2.4.1), le matériau ne doit pas être utilisé, car il faut s'attendre à une réduction de la durée d'utilisation de l'infrastructure et du ballast.

En raison de la bande de répartition granulométrique spéciale (voir paragraphe A2.11), on renonce à une normalisation selon VSS 70119.

Les exigences géométriques, physiques et chimiques des granulats pour le sable à gravier PSS sont indiquées dans le Tableau A2 -A21 du site (sur la base de VSS 70119).

Propriété	Exigences relatives aux granulats pour le sable à gravier PSS
Indice de planéité	Fl ₃₅ (Groupes granulaires 8/16, 16/31,5)
grains cassés	doit être indiqué (groupes de grains 4/8, 8/16, 16/31.5, 31.5/63)
Qualité des particules fines	selon d et note 1 (SN EN 13242, annexe A)
Résistance à l'écrasement	LA ₄₀ (Groupes granulaires 4/8 et 11/16)
Sulfates solubles dans l'eau	à clarifier en cas de suspicion

Tableau A2 -A21 : Exigences relatives aux granulats pour le sable à graviers PSS

Un récapitulatif des propriétés et des exigences pour la production de base de sable pour graviers PSS Tableau A2 -A22

Propriété		Référence	Exigences pour le sable à graviers PSS
Nom du mélange		-	Sable à graviers PSS
valeur limite supérieure pour la fraction fine		SN EN 13285, Tab. 2	UF ₁₂
valeur limite inférieure pour la fraction fine		SN EN 13285, Tab. 3	LF _N
Tamis de contrôle		SN EN 13285, tab. 4 et 5	0/63 ; en plus 22.4 mm, 0.5 mm, 0.125 mm et 0.063 mm ^{a)}
Zone de répartition granulométrique Gamme de granulométrie		-	La répartition granulométrique doit se situer dans les limites de l'illustration A2 -A212
Répartition granulométrique des différents lots	Comparaison avec la valeur indiquée par le fournisseur	-	La répartition granulométrique doit se situer dans les limites de l'illustration A2 -A212
	Différences de passages pour chaque tamis	d'après SN EN 13285, tab. 8	Passages de tamis en pourcentage de masse : entre A (16 mm) et B (8 mm) : max : 22 %, min : 8 entre B (8 mm) et C (4 mm) : max : 19 % ; min : 7 entre C (4 mm) et E (2 mm) : max : 16 %, min : 4 entre E (2 mm) et F (1 mm) : max : 14 %, min : 4
Résistance au gel		VSS 70321 SN EN 13286-47	CBR ₂ /CBR _≥ 0,5 et CBR _F /CBR _≥ 0,5
densité sèche et teneur en eau optimale		SN EN 13285, section 5.3	doivent être indiquées
Capacité de charge		SN EN 13286-47	Valeur CBR ₂ : ≥ 40 % ou ≥ 80 % pour les matériaux concassés ; matériau concassé Matériau à partir d'une proportion de ≥ 50% de grains concassés
Compressibilité		voir section A2.9	à démontrer dans le champ d'expérimentation
Perméabilité à l'eau		voir la section 6.4.3.1	Valeur $k \leq 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ ^{b)} (valeur k selon Darcy)
Classification des Composants		-	Le PSS est composé de granulats naturels ; pas d'impuretés visibles

a) Alternativement, la plage granulométrique inférieure (< 0,25 mm) peut être déterminée par analyse de la boue.

b) Essai en laboratoire sur une fraction de 0/16 mm ; en raison de la répartition granulométrique continue, on suppose que la fraction totale satisfait également à l'exigence.

Tableau A2 -A22 : Récapitulation des propriétés et exigences du sable à gravier PSS (production de base)

Après une production de base réussie, les exigences suivantes, plus strictes, s'appliquent à la répartition granulométrique (production par rapport à la production de base réussie), en plus des exigences figurant sur le Tableau A2 -A22 :

Propriété		Référence	Exigences relatives au sable à graviers PSS
Répartition granulométrique des différents lots	Comparaison avec la valeur indiquée par le fournisseur	-	La répartition granulométrique doit se situer dans les limites de l'illustration A2 -A212
	Différences de passages pour chaque tamis	En se basant sur le tab. 8 de la norme SN EN 13285, IL EST POSSIBLE D'OBTENIR DES INFORMATIONS SUR L'ÉTAT DE L'INSTALLATION.	<p>Passages de tamis en pourcentage de masse par rapport à chaque passage de tamis de la production de base :</p> <p>Pour le tamis A (16 mm) : $\pm 8 \%$. pour le tamis B (8 mm) : $\pm 8 \%$. pour le tamis C (4 mm) : $\pm 8 \%$. pour le tamis E (2 mm) : $\pm 7 \%$. pour le tamis F (1 mm) : $\pm 5 \%$. pour le tamis G (0.5 mm) : $\pm 5 \%$.</p> <p>En outre, la courbe de répartition des grains déterminée est soumise à la règle suivante :</p> <p>à 0,25 mm : $\pm 3 \%$ à 0,125 mm : $\pm 3 \%$ à 0,063 mm : $\pm 2 \%$</p> <p>le signe de l'écart (tamis jusqu'à 0,5 mm ou passages massiques déterminés < 0,5 mm) devant toujours être le même, afin que la fonction de blocage reste garantie.</p>

Tableau A2 -A23 : Compilation des exigences pour le sable à gravier PSS (production par rapport à la production de base réussie)

Pour l'utilisation d'autres granulats :

Il est interdit d'utiliser des granulats recyclés ou fabriqués industriellement .⁸

⁸ Dans le cas des granulats recyclés, l'homogénéité des granulats n'existe pas ou seulement de manière limitée. Il en résulterait une surveillance plus intensive de la qualité, des paramètres de mise en œuvre variables (teneur en eau optimale, densité sèche) ainsi qu'un comportement très variable en ce qui concerne les changements de teneur en eau.

A2.5 Exigences complémentaires pour les essais en laboratoire

Les spécifications suivantes s'appliquent à la détermination des valeurs de CBR, de densité sèche et de perméabilité de Darcy, conformément aux sections suivantes A2.6 à A2.8 de la présente annexe.

Essai en laboratoire	Valeurs	Section	Installation-Teneur en eau	Énergie [MJ/m³]	Pot
Capacité de charge/gel	CBR, CBR ₂ et CBR _F	A2.6	W _{opt}	1.2	B
Densité à sec (Proctor)	$\rho(d \text{ max})$ et W _{opt}	A2.7	différents	0.6	A ou B
Perméabilité selon Darcy	k	A2.8	W _{opt}	0.6	B

Tableau A2 - :A24 Aperçu des énergies et des pots de Proctor à utiliser lors des différentes Essais en laboratoire des sections A2.6 à A2.8

Pots de Proctor

Il convient d'utiliser des appareils normalisés selon la norme SN EN 13286-2. D'autres dimensions de pots sont autorisées, pour autant que le laboratoire puisse prouver qu'il existe une concordance suffisante avec les résultats des essais réalisés avec des appareils normalisés (validation, y compris essais comparatifs ou essais interlaboratoires).

Proctortopf A - les dimensions suivantes sont autorisées :

Diamètre [mm]	hauteur [mm]
100 ±1	120 ±1

Tableau A2 -A25 : Proctortopf A : Dimensions normalisées

Proctortopf B - les dimensions suivantes sont autorisées :

Diamètre [mm]	hauteur [mm]
150 ±1	120 ±1

Tableau A2 -A26 : Proctortopf B : Dimensions normalisées

Répartition des impacts lors du compactage

La répartition des coups doit être effectuée selon SN EN 13286-2 avec des coups centraux respectifs au moyen d'un automate ou à la main.

Groupe granulométrique

La détermination des valeurs CBR, des densités sèches et des valeurs de perméabilité selon Darcy est effectuée sur le groupe granulométrique 0/16.

A2.6 Détermination des valeurs CBR, CBR₂ et CBR_F

Selon la norme SN EN 13286-47, le pot de proctor B doit être utilisé conformément à la norme SN EN 13286-2.

Poids Marteau à chute [kg]	Diamètre de la surface de base [mm]	Hauteur de chute [mm]	Nombre de Équipes	Nombre de Coups par jour Équipe	Énergie [MJ/m ³]
4.50 ±0.04	50.0 ±0.5	457 ±3	5	28	1.2

Tableau A2 -A27 : Données pour la compression lors d'essais CBR

Pour que les résultats des essais CBR soient comparables, les éprouvettes sont fabriquées avec une teneur en eau optimale w_{opt} et une énergie de compactage de 1,2 MJ/m³ (5 couches de 28 coups chacune avec des appareils normalisés). L'essai de pénétration du poinçon est toujours effectué avec une surcharge selon la norme VSS 70321.

A2.7 Détermination de la densité sèche $\rho_{(d \max)}$ et de la teneur en eau optimale w_{opt}

Pour que les résultats des essais Proctor soient comparables, les éprouvettes sont fabriquées avec une énergie de compression de 0,6 MJ/m³. Les possibilités suivantes existent pour l'instant :

Proctortopf A

Poids Marteau à chute [kg]	Diamètre de la surface de base [mm]	Hauteur de chute [mm]	Nombre de Équipes	Nombre de Coups par jour Équipe	Énergie [MJ/m ³]
2.50 ±0.02	50.0 ±0.5	305 ±3	3	25	0.6

Tableau A2 -A28 : Indications pour le compactage lors de la détermination de la densité sèche dans le pot de Proctor A

Pot de procte B

Poids Marteau à chute [kg]	Diamètre de la surface de base [mm]	Hauteur de chute [mm]	Nombre de Équipes	Nombre de Coups par jour Équipe	Énergie [MJ/m ³]
2.50± 0.02	50.0± 0.5	305 3±	3	56	0.6
4.50± 0.04	50.0± 0.5	457 3±	5	13	0.6

Tableau A2 -A29 : Indications pour le compactage lors de la détermination de la densité sèche dans le pot de Proctor B

La norme SN EN 13286--2 indique la marche à suivre.

A2.8 Détermination de la perméabilité selon Darcy (valeur k)

La perméabilité à l'eau doit être réalisée dans le Proctortopf B à hauteur de pression constante dans un dispositif d'essai s'inspirant de la norme SN EN ISO 17892-11.

Pour que les valeurs de perméabilité soient comparables, les spécifications présentées dans Tableau A2 -A210 doivent être respectées. Spécifications individuelles :

Dispositif de contrôle

Le pot de Proctor B doit comporter une plaque filtrante en treillis métallique ou en laiton perforé. En outre, un papier filtre grossier, un non-tissé ou un matériau similaire doit être installé sur la plaque filtrante contre le matériau PSS de sable de gravier à installer. La largeur d'ouverture caractéristique est généralement de 0,05 mm à 0,07 mm.

Préparation des échantillons

L'essai doit être réalisé avec une teneur en eau optimale w_{opt} . Le matériau d'essai doit être mélangé avec la quantité d'eau appropriée 12 heures avant le début de l'essai, puis stocké à température ambiante dans des récipients appropriés et étanches à l'air, qui empêchent toute modification de la teneur en eau. Cela permet de garantir une absorption homogène de l'eau. Ce n'est qu'ensuite que le matériau est mis en place par couches successives dans le Proctortopf B. Le matériau est ensuite placé dans le Proctortopf B.

Fabrication de l'éprouvette

Les éprouvettes sont fabriquées dans le pot de Proctor B avec une énergie de compactage de $0,6 \text{ MJ/m}^3$ et une teneur en eau optimale w_{opt} . Pour l'instant, les types d'essais avec les deux marteaux-pilons doivent être autorisés selon la détermination de la densité de Proctor (voir Tableau A2 -A28). Le Tableau A2 -A29 de présente l'exemple standard avec le marteau-pilon de 2,5 kg et le pot de Proctor correspondant.

La densité humide de l'éprouvette doit être déterminée. La densité sèche est calculée à partir de la teneur en eau de l'échantillon parallèle. Celle-ci ne doit pas s'écarter de plus de 10 kg/m^3 - 20 kg/m^3 par rapport à la densité sèche maximale obtenue lors de l'essai Proctor.

Réalisation de l'essai

L'eau du robinet peut être utilisée pour réaliser l'expérience. La durée de saturation s'effectue jusqu'à ce que l'eau s'écoule pour la première fois. Ensuite, la vanne de sortie est à nouveau fermée pendant 15 minutes, puis l'expérience commence. La durée de la mesure est de 5 ou 10 minutes selon la quantité d'eau qui s'écoule. La durée totale minimale de l'essai est de 8 heures. Après une éventuelle augmentation initiale de la perméabilité, l'augmentation maximale de la perméabilité ne doit pas être supérieure à $5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Une zone d'écoulement linéaire doit être présente pendant toute la durée de l'essai. Le résultat de l'essai est la moyenne des 3 mesures effectuées après 4, 6 et 8 heures.

Propriété	Unité	Exigence
Dispositif de contrôle		
Rapport grain/pot min	[-]	-
Art. du pot	[-]	Pot de procte B
Diamètre du pot	[mm]	150.0
Hauteur intérieure du pot	[mm]	120.0
Marteau de chute Poids	[g]	2500
Marteau à chute Hauteur de chute	[mm]	305
Diamètre du marteau de chute	[mm]	50 ±1
Plaque filtrante	[-]	Tissu métallique ou plaque de laiton ; en plus, papier filtre grossier, non-tissé ou si- milaire. (largeur d'ouverture caractéristique 0.05 - 0.07 mm)
Préparation des échantillons		
Groupe granulométrique	[mm]	0/16
Teneur en eau optimale / w_{opt}	[-]	oui
Détermination de la teneur en eau effective	[-]	oui
Temps de repos après ajout d'eau (w_{opt})	[h]	au moins 12
Fabrication de l'éprouvette		
Nombre de couches	[-]	3
Nombre de coups par équipe	[-]	56
Énergie de compression	MJ/m ³	0.6
Répartition des coups	[-]	selon EN (position centrale)
Densité de stockage	[-]	-
Détermination de la densité hu- mide et calcul de la densité sèche	[-]	oui
Réalisation de l'essai		
Dispositif expérimental	[-]	-
Température ambiante	[-]	-
Hauteur d'impression constante	[-]	oui
Art. de l'eau	[-]	Eau du robinet
Saturation Art.	[-]	-
Saturation Durée	[min]	Ouvrir la vanne "prudemment et lentement" jusqu'à ce que la première eau s'écoule ; fer- mer la vanne ; attendre 15 minutes ; puis démarrer
Durée de la mesure	[min]	5 - 10 (selon la quantité d'eau)
Fréquence des mesures	[-]	première mesure après 5 à 10 minutes, ensuite après env. 1, 2, 4, 6 et 8 heures
Durée totale de l'essai minimale	[h]	8
Gradient hydraulique i	[-]	< 5 zone d'écoulement laminaire
Ratio sortie/influence	[-]	constant
Variation de la valeur k pour 4 mesures	[%]	Après une augmentation initiale de la perméa- bilité, l'augmentation maximale peut encore être de 5-10 ⁻⁶ m/s par la suite.
Flux stationnaire exigé	[-]	oui
Purger périodiquement l'air	[-]	oui
Température de l'eau pendant l'expérience	[°C]	±2

Tableau A2 -A210 : Exigences relatives à la réalisation d'essais pour la détermination de la perméabilité d'un sable graveleux PSS

Vérification

La densité humide et la teneur en eau de l'éprouvette doivent être déterminées. La densité sèche finale est calculée à partir de ces données.

Lors du démontage de l'échantillon, il faut particulièrement veiller à ce que l'humidification ait eu lieu dans toute la section et que le non-tissé ne soit pas colmaté. Un non-tissé colmaté ferait baisser la valeur k en conséquence. Dans un tel cas, l'essai doit être répété avec un gradient hydraulique plus faible, de manière à obtenir une zone d'écoulement linéaire.

A2.9 Test de compactibilité sur le terrain d'essai

La preuve de la compressibilité doit être apportée par l'entrepreneur ou le fournisseur de gravier sur le site d'essai, en comprimant avec les appareils prévus lors de la pose ou avec la même énergie de compactage (p. ex. vibreur multiplaques de la machine de pose de voies Pusal).

En principe, la compressibilité de tous les types de matériaux, à l'exception des mélanges de graviers perméables et résistants au gel, doit être démontrée dans un champ d'essai. Pour les petits chantiers où la quantité de matériaux ne dépasse pas environ 5'000 m³, il est possible de renoncer au champ d'essai. Dans ces cas, la vérification de la compactibilité se fait aux risques de l'entrepreneur avec le contrôle de la qualité de la couche mise en place.

Dans le champ d'essai où l'effet des appareils de compactage prévus doit être vérifié, les valeurs caractéristiques suivantes doivent au moins être démontrées (exemple : sable de gravier PSS avec une déformabilité maximale de 15 MN/m² sur la plate-forme, cas de conservation) :

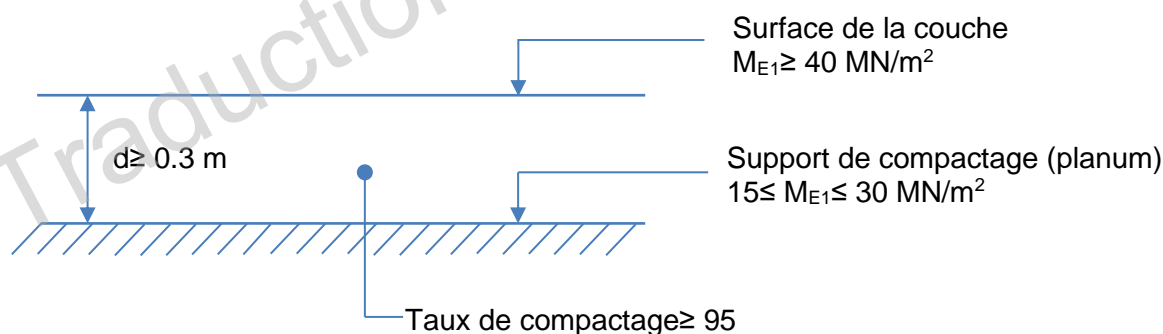


Figure A2 -A211 : Test de compactibilité en champ d'essai

A2.10 Assurance qualité

Le fournisseur de gravier ou l'entrepreneur veille à ce que les valeurs minimales de qualité convenues soient atteintes à chaque livraison. Il est donc seul responsable de l'assurance qualité de sa marchandise.

Des contrôles aléatoires sont effectués sur le chantier par le maître d'ouvrage ou la direction des travaux.

A2.11 Contrôle du sable à gravier PSS, exemple CFF

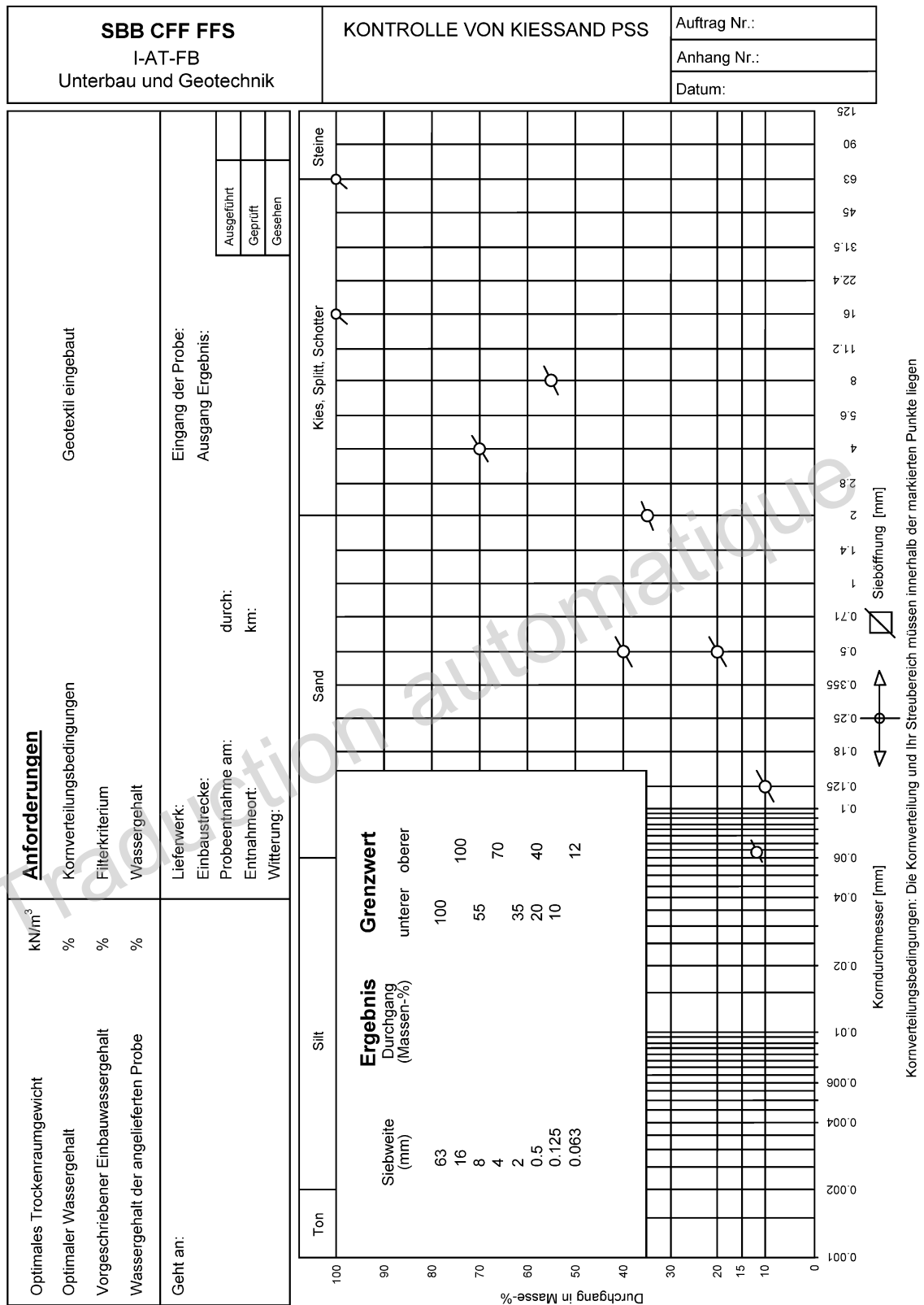


Illustration A2 -A212 : Courbe de répartition granulométrique du sable à gravier PSS.

A3 Réception de l'infrastructure après la mise en place de sable à gravier Protocole de contrôle PSS, exemple CFF


 SBB CFF FFS	I-NAT-FB-Unterbau und Geotechnik	Auftrag Nr:																																																																						
	Abnahme des Unterbaus Prüfprotokoll für Kiessand PSS	Datum der Abnahme:																																																																						
Strecke:	Gleis/Weiche:	km von bis																																																																						
Hersteller Kiessand PSS: % M _{opt} = % DD _{opt} = kg/m ³ (Eignungsprüfung Kiessand PSS erfolgt am:)																																																																								
Unternehmung: Witterung:																																																																								
Kontrolle ausgeführt durch: Wagen zugedeckt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein																																																																								
Verdichtung - Gerätetyp: <input type="checkbox"/> Erneuerung im Schichtintervall - Betriebsgewicht: t <input type="checkbox"/> Gleis dauernd ausser Betrieb - Anzahl Arbeitsgänge: statisch: vibrierend:																																																																								
Geokunststoff auf Planum verlegt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Typ:																																																																								
① Messung des Verdichtungsgrades: DD = Trockendichte % PR = Verdichtungsgrad 10 Messungen bei km: Messtiefe: cm o= mit Dom gemessen																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Versuch Nr.</th> <th>WD</th> <th>DD</th> <th>% M</th> <th>% PR</th> <th>Versuch Nr.</th> <th>WD</th> <th>DD</th> <th>% M</th> <th>% PR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>6 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>7 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>9 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>10 <input type="checkbox"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td colspan="5"></td><td>Mittel</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Versuch Nr.	WD	DD	% M	% PR	Versuch Nr.	WD	DD	% M	% PR	1 <input type="checkbox"/>					6 <input type="checkbox"/>					2 <input type="checkbox"/>					7 <input type="checkbox"/>					3 <input type="checkbox"/>					8 <input type="checkbox"/>					4 <input type="checkbox"/>					9 <input type="checkbox"/>					5 <input type="checkbox"/>					10 <input type="checkbox"/>										Mittel				
Versuch Nr.	WD	DD	% M	% PR	Versuch Nr.	WD	DD	% M	% PR																																																															
1 <input type="checkbox"/>					6 <input type="checkbox"/>																																																																			
2 <input type="checkbox"/>					7 <input type="checkbox"/>																																																																			
3 <input type="checkbox"/>					8 <input type="checkbox"/>																																																																			
4 <input type="checkbox"/>					9 <input type="checkbox"/>																																																																			
5 <input type="checkbox"/>					10 <input type="checkbox"/>																																																																			
					Mittel																																																																			
WD = Feuchtraumgewicht % M = Wassergehalt Anforderungen an Mittel: % PR ≥ 95 % (Erneuerung im Schichtintervall oder mit Gleisbaumaschinen); % PR ≥ 97 % (Gleis dauernd ausser Betr. und Erneuerung. strassenbmng)																																																																								
② Messung der Schichtgeometrie: <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">1. Schichtdicke [cm]</th> <th colspan="3">2. Schichtbreite [cm]</th> <th colspan="3">3. Quergefälle [%]</th> </tr> <tr> <th>A</th><th>B</th><th>C</th> <th>A</th><th>B</th><th>C</th> <th>A</th><th>B</th><th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>.....</td><td>.....</td><td>.....</td> <td>.....</td><td>.....</td><td>.....</td> <td>.....</td><td>.....</td><td>.....</td> </tr> </tbody> </table> 4. Höhentoleranz: max. Mulden unter 3-m-Latte: 3 cm (in Falllinie gemessen) Mulde 1: cm Mulde 2: cm Mulde 3: cm Wasserabfluss auf Planie gewährleistet? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			1. Schichtdicke [cm]			2. Schichtbreite [cm]			3. Quergefälle [%]			A	B	C	A	B	C	A	B	C																																											
1. Schichtdicke [cm]			2. Schichtbreite [cm]			3. Quergefälle [%]																																																																		
A	B	C	A	B	C	A	B	C																																																																
.....																																																																
③ Beurteilung: Anforderungen an PSS erfüllt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Durchgeführte Massnahmen, falls nicht erfüllt (R RTE 21110, Ziffer 9.3.3.7):																																																																								
Anschluss Entwässerung gewährleistet? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> nicht einsehbar																																																																								
Verteiler: - Projektierung Ort/Datum: - Ausführung - Überwachung - Lieferant - Einkauf/Logistik Unterschrift:																																																																								

Illustration A3 -A31 : Réception de l'infrastructure après la mise en place de sable à gravier PSS Procès-verbal de contrôle, exemple CFF

A4 Spécification technique du ballast de voie

(complément à la section)8.1.1

A4.1 Ballast de voie ferrée

La norme VSS 70110 ainsi que la norme SN EN 13450 sont les bases déterminantes de ces spécifications techniques.

Les spécifications techniques s'appliquent à la fourniture de ballast de voie ferrée destiné à être utilisé dans la construction et l'entretien des voies ferrées.

A4.2 Normes d'essai et exigences techniques

A4.2.1 Méthode d'essai

Les spécifications et les méthodes d'essai à utiliser sont indiquées dans les normes suivantes :

- VSS 70110
- SN EN 13450
- VSS 70115
- SN EN 932-3
- VSS 70830a

Traduction automatique

A4.2.2 Exigences techniques pour le ballast des voies ferrées

	Exigences pour les classes de ballast 1, 2, 3 et RC I et RC-II					
Caractéristiques	Valeur					Grandeur de mesure
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	RC I	RC II	
Granulométrie- Répartition des grains	80 mm:100			100		Masse-% Passage au tamis
	63 mm:97 à 99			Au moins 60 % entre 31,5 et 63 mm		
	50 mm:65 à 99					
	40 mm:30 à 65					
	31.5 mm:1 à 25					
	22.4 mm:0 à 3			0 à 3		
Grain fin	≤ 0.6 % en masse					Passage du tamis (0,5 mm)
Grain très fin	≤ 0,5 % en masse					Passage du tamis (0.063 mm)
Forme des grains	SI20 ≤ 20 % en masse					Indice de forme des grains (SI)
Longueur des grains	≤ 4 % de masse			Aucune exigence		Longueur des grains > 100 mm
Résistance à la Déchiquetage	L _{ARB} 16 ≤ 16	L _{ARB} 22 ≤ 22	L _{ARB} 28 ≤ 28	L _{ARB} 16 ≤ 16	L _{ARB} 28 ≤ 28	Coefficient de Los An- geles (LA)
Test de fragmenta- tion	Valeur Z ≤ 40	Valeur Z ≤ 48	Valeur Z ≤ 56	Valeur Z ≤ 40	pas d'exi- gence	Degré de fragmenta- tion (valeur Z)
Durabilité	MS≤ 3 % en masse			pas d'exigence		Valeur du sulfate de magnésium (MS)
	≤ 5 % de masse	≤ 6 % de masse	≤ 7 % de masse	pas d'exigence		Pétrographie selon SN 70 115
approprié Grains de vieux bal- last				> 90 % en masse		Composants ap- propriés
Matières étrangères	pas de			Selon l'OVEA		
Chants	Complètement cassé, à arêtes vives			Partiellemen Arrondis des bords permet		Examen visuel

Tableau A4 -A41 : Exigences techniques pour le ballast des voies ferrées

Exigences relatives au ballast nettoyé

Les exigences pour un ballast utilisé sur le chantier sont minimales et se limitent à la limitation du passage au tamis à 5% à 22,4 mm (voir aussi A5A5).

Le ballast nettoyé qui n'est pas utilisé sur le chantier initial doit répondre aux exigences suivantes :

- Répartition granulométrique selon le ballast RC (tab.)
- Valeur $LA \leq 22$,
grains inadaptés selon le ballast RC (tab.)
- arêtes selon le ballast RC (tab.), k
une pollution organoleptique constatable (par ex. graisse, huile, scories...)

A4.3 Qualification et gestion de la qualité

Le système d'assurance qualité pour le ballast de voie ferrée est structuré en plusieurs étapes et se compose des éléments suivants :

	Qualification	local Attribution	Document justificatif
3.1	Aptitude du gisement rocheux	Montagne, roche	Expertise en géologie
3.2	Aptitude du ballast (produit)	Gravie	Expertise en pétrographie : Résultats méthode d'essai - Expertise laboratoire tiers
3.3	Adéquation de l'œuvre	Carrière de pierres, de préparation, de la logistique, Système d'assurance qualité	Expertise d'un laboratoire tiers ; Examen de la géotechnique des CFF ; Examen de la logistique des CFF ; Échantillon de référence
	la production, Livraison, installation		
3.4	Assurance qualité Fournisseur selon SN EN 13450	Usine, fournisseur	Procès-verbaux, rapport
3.5	Contrôle de réception sur le site d'installation	Chantier	Usine, fournisseur Protocole d'installation

Tableau A4 -A41 : Système d'assurance qualité pour le ballast des voies ferrées.

La qualification doit être définie par les chemins de fer dans le cadre de la soumission et présentée par le soumissionnaire.

Les conditions techniques pour la livraison de ballast de voie ferrée sont les suivantes :

- Aptitude du gisement de roches : l'étude géologique et pétrologique a démontré l'aptitude du gisement de roches à la préparation de ballast d'une classe de ballast spécifique.
- Aptitude du ballast : l'essai d'aptitude du ballast a démontré la conformité du ballast de la classe spécifique de ballast.
- Aptitude de l'usine : l'évaluation de la carrière et de la logistique par l'entreprise ferroviaire est conforme aux exigences. La qualification de fournisseur de ballast est accordée.

A4.3.1 Aptitude du gisement rocheux

Les roches doivent être désignées conformément aux normes SN EN 932-3 et VSS 70115. Les types de roches utilisés pour la préparation du ballast de voie doivent être des roches fraîchement extraites et non altérées. Ne conviennent pas, par exemple, les roches qui ont subi des transformations hydrothermales, qui sont altérées ou qui sont fortement fracturées par la tectonique. La roche ne doit pas être sensible aux explosions ou aux fractures et doit être résistante aux intempéries.

La dureté de la roche est définie dans la norme VSS 70115 :

- Seuls les gisements de roches dures se prêtent à la préparation de ballast de classe 1.
- Les gisements de roches moyennement dures se prêtent à la préparation de ballast de classe 2.
- Dans certaines conditions, les gisements de certains types de roches tendres peuvent être utilisés pour la préparation de ballast de classe 3.

Les gisements de roches très tendres ne conviennent pas à la transformation en ballast de voie ferrée. L'examen d'aptitude consiste en une expertise réalisée par un expert désigné par l'entreprise ferroviaire en accord avec le client et mandaté par le fabricant de ballast. L'expert procède à tous les examens et contrôles nécessaires du point de vue technique.

Le rapport d'expertise initial ou de base contient les éléments suivants :

- Description géologique, stratigraphique et tectonique de la région.
- Description géologique des zones appropriées et non appropriées pour le ballast des voies ferrées.
les couches rocheuses (structure, texture, propriétés techniques et pétrologiques, notamment la résistance aux intempéries, la dureté de la roche et la résistance aux contraintes mécaniques, etc.)
- Évaluation de l'homogénéité, respectivement de la variabilité du gisement, des changements latéraux et verticaux de faciès. régularisation des zones adaptées ou non à la production de ballast, des zones de roches dures, mi-dures et tendres, des parties altérées ou transformées par l'hydrothermie, des failles qui ont une influence négative sur la qualité de la matière première, etc.
- Estimation de la quantité de matériaux appropriés et inappropriés dans la zone d'extraction faisant l'objet de la concession et, le cas échéant, dans les zones d'extension où des autorisations sont envisageables dans certaines circonstances.
- Évaluation du gisement de roches en termes d'aptitude à la qualité pour la production de ballast et estimation des classes de ballast qui peuvent être traitées.
- Mesures à prendre lors de l'extraction et de la préparation pour garantir la conformité du ballast de la voie ferrée
- Évaluation de la performance du système de contrôle de la production en usine selon les bases définies dans la norme SN EN 13450, annexe I (contrôle de la production en usine).

A4.3.2 Aptitude du ballast

Le ballast de voie ferrée est fabriqué à partir de roches non altérées et peu fissurées ou fragiles tectonisées. Après le dynamitage et le concassage, la roche est criblée et lavée ou dépolvoisée.

L'essai d'aptitude du ballast peut être réalisé si l'expertise a démontré l'adéquation du gisement rocheux à une classe spécifique de ballast. L'entreprise ferroviaire prélève ensuite les échantillons nécessaires en accord avec le producteur de ballast. Les prélèvements ont lieu sur le lieu de préparation et de stockage et/ou lors du chargement. Les échantillons sont prélevés en présence des parties et un procès-verbal doit être établi. Un échantillon représentatif d'au moins 300 kg est nécessaire pour un test d'aptitude complet. Un échantillon de référence de l'échantillon pour l'essai d'aptitude sert de justificatif et de comparaison et est conservé par l'entreprise ferroviaire jusqu'à l'essai d'aptitude suivant.

L'exécution de cet essai est confiée à un organisme (laboratoire tiers) à désigner par l'entreprise ferroviaire en accord avec le fabricant de ballast. L'essai de qualification du ballast comprend les caractéristiques d'essai suivantes :

- nature pétrographique des roches et composition minéralogique, teneur en composants durs, moyennement durs, mous et inadaptés dans le ballast (grains très mous, friables, poreux, altérés, sensibles aux intempéries, arêtes très émoussées, grains arrondis, etc.)
- Résistance à l'écrasement (tentative de Los Angeles)
- Répartition granulométrique
- Forme des grains
- Longueur des grains
- Teneur en fines
- Teneur en fines
- Résistance aux intempéries et durabilité (gel, changements de température, chaleur, sels, eau, etc.)
- Résistance au bourrage, déterminée par un essai de fragmentation selon VSS 70830a
- Composants nocifs

L'aptitude doit être prouvée à nouveau en cas de modification du gisement de matières premières ou du mode de fabrication pouvant avoir une influence sur la qualité, mais au plus tard tous les 5 ans.

A4.3.3 Évaluation de l'usine de ballast

Si l'étude d'aptitude du gisement de granulats et l'essai d'aptitude du ballast sont positifs, le site de production de ballast est soumis à une évaluation par l'entreprise ferroviaire. Celle-ci porte sur le gisement de granulats, le mode d'extraction, le traitement, le stockage, le mode de chargement, les possibilités de chargement, l'accessibilité (horaires), les possibilités de stationnement des wagons, le stockage des matériaux ainsi que le contrôle de la production en usine. L'évaluation est répétée en règle générale après une modification du processus de production ou par sondage à intervalles irréguliers, à la discrétion de l'entreprise ferroviaire.

La fréquence de l'évaluation de l'usine de ballast dépend de l'aptitude à la qualité et du système d'assurance qualité des différentes usines de livraison. Lors de l'évaluation de l'usine de ballast, des examens d'aptitude du gisement de granulats et des essais d'aptitude du ballast peuvent être ordonnés. De tels examens doivent être ordonnés si les contrôles de qualité révèlent des défauts.

A4.3.4 Contrôle de la production en usine

Le prix payé au fabricant ou à l'entrepreneur est celui d'un produit répondant aux exigences de qualité. Il doit veiller à ce que les exigences techniques soient atteintes à chaque livraison. Il doit donc gérer un système de contrôle de la production en usine. Les enregistrements tenus par le fabricant doivent indiquer quelles procédures de contrôle de la qualité ont été appliquées pendant la fabrication du ballast de voie ferrée. La norme SN EN 13450 contient en annexe I le système de contrôle de la production en usine à appliquer, dans lequel sont consignées les dispositions relatives à l'organisation, aux procédures de contrôle, à la maîtrise des processus, à la surveillance et aux essais, aux enregistrements, à la maîtrise des produits défectueux, à la manipulation en usine, au stockage et au traitement en usine, au transport et à l'emballage ainsi qu'à la formation du personnel.

Le fabricant doit fournir spontanément à l'entreprise ferroviaire les résultats des contrôles d'usine pour chaque mois de production de ballast. Ils doivent être conservés pendant au moins 5 ans. Sur demande, l'entreprise ferroviaire doit avoir accès à ces documents.

A4.3.5 Procédure en cas de défauts

Si cette réserve est confirmée par des analyses complémentaires (tests en laboratoire, tests sur le chantier), une réduction de prix correspondant à la moins-value de la marchandise est appliquée si la répartition granulométrique, les fines, la forme ou la longueur des grains sont défectueuses.

Si la résistance à l'écrasement ou la résistance aux intempéries est contestée, le fournisseur doit réparer le dommage (frais de remplacement ainsi que de démontage et de remontage sur la voie), car il faut s'attendre à une durée d'utilisation réduite du ballast.

A5 Protocole d'essai pour le ballast de voie, exemple CFF

<div style="text-align: center;"> SBB CFF FFS</div> <div style="text-align: center;">I-NAT-FB</div> <div style="text-align: center;">Unterbau und Geotechnik</div>	<h2 style="margin: 0;">Schotterqualität Prüfprotokoll</h2>	<div>Lieferant: _____</div> <div>Schotterwerk: _____</div> <div>Lieferdatum: _____</div>																																																
Strecke/Bahnhof/Weiche _____																																																		
Probeentnahme: <input type="checkbox"/> Bahnwagen <input type="checkbox"/> Lastwagen <input type="checkbox"/> Werk <input type="checkbox"/> Strecke/Gleis, km _____ Wagen Nr. _____ Entnahmedatum _____																																																		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Visuelle Prüfung durch den Baustellenleiter</div> <div style="padding-top: 10px;">Gehalt an ungeeigneten Steinen <input type="checkbox"/> wenig <input type="checkbox"/> viel</div> <div style="padding-top: 10px;">Korn: <input type="checkbox"/> in Ordnung <input type="checkbox"/> zu gross <input type="checkbox"/> zu klein <input type="checkbox"/> zu plattig <input type="checkbox"/> _____</div> <div style="padding-top: 10px;">Reinheit: <input type="checkbox"/> in Ordnung <input type="checkbox"/> zu viel Feinstkorn <input type="checkbox"/> _____</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 10px;">Entscheid des Baustellenleiters</div> <div style="padding-top: 10px;"><input type="checkbox"/> Schotter visuell in Ordnung <input type="checkbox"/> Schotter visuell nicht in Ordnung. Repräsentative <input type="checkbox"/> Rücktransport an Lieferanten auf dessen Kosten Probe von 80 kg mit Prüfprotokoll schicken an: <input type="checkbox"/> Abnahme unter Vorbehalt SBB AG, I-NAT-FB, Labor für Geotechnik, Stöckackerstrasse 25, 3018 Bern 65</div> <div style="padding-top: 10px;">Ort und Datum: _____</div> <div style="padding-top: 10px;">Der Verantwortliche für die Probenahme: _____</div>																																																		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; width: 20%; float: left;">Prüfung im Labor gemäss R RTE 21110</div> <div style="clear: both;"></div> <div style="padding-top: 10px;">(Messwerte und Beurteilung siehe Rückseite)</div> <div style="padding-top: 10px;">Auftrag / Labornummer: _____ Gleisgruppe: _____</div> <div style="padding-top: 10px;">Eingang Probe: _____ Ausgang Ergebnis: _____</div>																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 5px;">Korngrößenverteilung</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Feinstkorn</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Feinkorn</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Kornform</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Kornlänge</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Widerstand gegen Zertrümmerung</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Dauerhaftigkeit</td></tr><tr><td style="padding: 5px;"> </td></tr></table>	Korngrößenverteilung	Feinstkorn	Feinkorn	Kornform	Kornlänge	Widerstand gegen Zertrümmerung	Dauerhaftigkeit		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><thead><tr><th colspan="4" style="padding: 5px;">Anforderungen erfüllt Ja / Nein</th></tr><tr><th style="width: 25%; padding: 5px;">Klasse 1</th><th style="width: 25%; padding: 5px;">Klasse 2</th><th style="width: 25%; padding: 5px;">Klasse 3</th><th style="width: 25%; padding: 5px;">RC</th></tr></thead><tbody><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		Anforderungen erfüllt Ja / Nein				Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	RC																																
Korngrößenverteilung																																																		
Feinstkorn																																																		
Feinkorn																																																		
Kornform																																																		
Kornlänge																																																		
Widerstand gegen Zertrümmerung																																																		
Dauerhaftigkeit																																																		
Anforderungen erfüllt Ja / Nein																																																		
Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	RC																																															

SBB 01.06.2024

1/2

Tableau A5 -A51 : Protocole d'essai pour le ballast de voie, exemple CFF (page 1 de 2)

Messwerte im Labor

Siebdurchgang [%]

Kennwert	Grenzwert	Ergebnis
80 mm	100 %	
63 mm	97 - 100 %	
50 mm	65 - 99 %	
40 mm	30 - 65 %	
31,5 mm	1 - 25 %	
22,4 mm	0 - 3 (5) % *	

Kornformkennzahl	≤ 20 %	
Kornlänge > 100 mm	≤ 4 %	
Feinstkorn < 0,063 mm	≤ 0,5 %	
Feinkorn < 0,5 mm	≤ 0,6 %	
LA-Koeff. Kl. 1 und RC ≤ 16		
Kl. 2 ≤ 24; Kl. 3 ≤ 28		
Magnesiumsulfat-beständigkeit	≤ 3 %	
angewitterte und schiefrige Körner		<div>viel <input type="checkbox"/></div> <div>wenig <input type="checkbox"/></div>
Körner mit stark gerundeten Kanten		<div>viel <input type="checkbox"/></div> <div>wenig <input type="checkbox"/></div>

* (5 %) für Proben, die auf der Baustelle und nicht im Werk entnommen wurden (Schotterreinigung).

Bemerkungen: _____

Entscheid des Laborleiters

☐ Anforderung erfüllt, Schotterabnahme ist erfolgt.

☐ Anforderung nicht erfüllt

☐ Abnahme erfolgt mit Preisreduktion, da Produkt fehlerhaft

☐ Abnahme verweigert, da verkürzte Lebensdauer von Gleisen mit solchem Schotter zu erwarten ist

☐ Schotterwerk für weitere Lieferungen sperren

☐ Werkseigene Produktionskontrolle überprüfen

☐ Eignungsprüfung durchführen

☐ Beurteilung des Schotterwerkes durchführen

☐ _____

Ort und Datum: _____

Der Laborleiter: _____

Geht an:

- Projektierung

 - Ausführung

 - Lieferant

- Logistik

 - Einkauf (wenn Probe nicht erfüllt)

SBB 01.06.2024

2/2

Tableau A5 -A52 : Protocole d'essai pour le ballast de voie, exemple CFF (page 2 de 2).

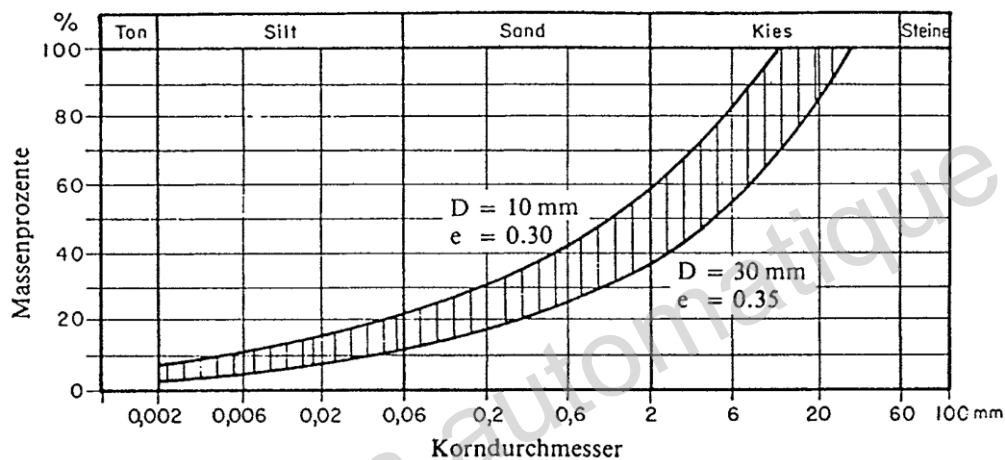
A6 Répartition granulométrique pour les couches minérales

Couches d'étanchéité

(complément à la section)8.2.3

Remarque : Illustration A6 -A61 se base sur des tamis à trous ronds. La répartition granulométrique avec des tamis à trous carrés pour les couches d'étanchéité liées à l'argile et à l'eau est contenue dans la norme VSS 40744. La granulométrie maximale est de 16 mm.

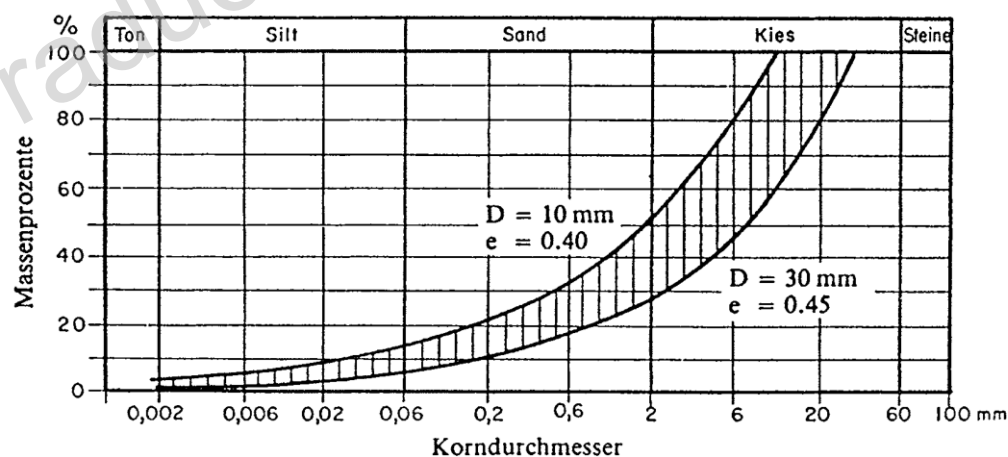
Materialzusammensetzung für ton-wassergebundene Verschleisschichten



D : Grösstkorndurchmesser

e : Parabelexponent

Materialzusammensetzung für kalk-wassergebundene Verschleisschichten



$$p = 100 \frac{d^e}{D^e}$$

p : Durchgang in % durch das Sieb mit der Sieböffnung d

D : Durchmesser des Grösstkorns

d : Durchmesser des Korn für Siebdurchgang p

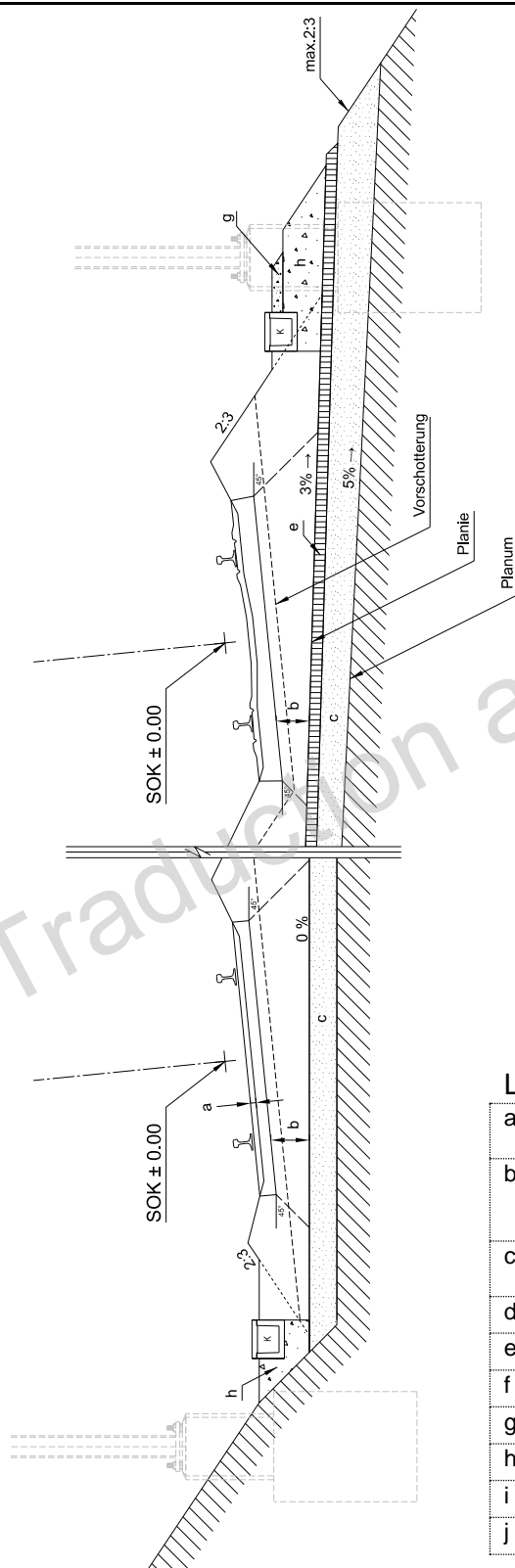
e : Parabelexponent (Fullerkurve: e = 0.5)

Illustration A6 -A61 : Compositions de matériaux pour les couches d'usure.

Source : Viktor Kuonen, professeur à l'EPFZ, Forêt et chemins ruraux (1983)

A7 Profils normaux de la chaussée

A7.1 Structure de la couche "mélange non lié" (pour N4 et E4) et "AC Rail" (pour N1-3 et E1-3)



Remarques sur l'illustration :

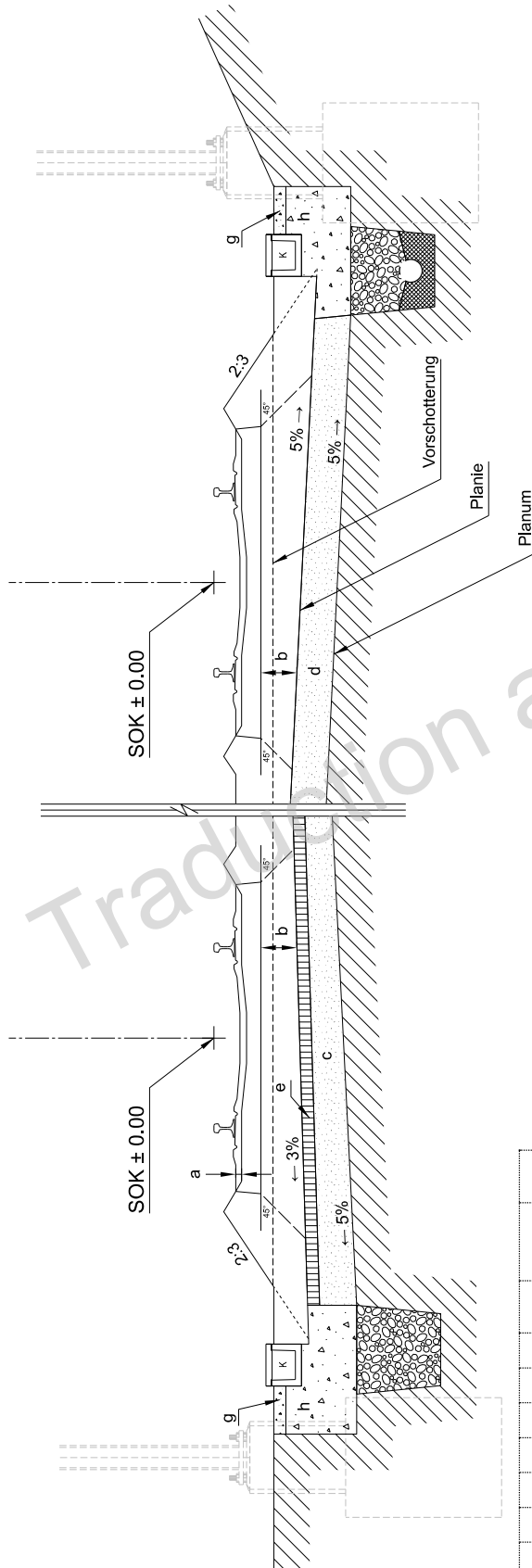
- Les détails concernant le drainage de la chaussée sont présentés dans l'annexe A8.
- La largeur du AC Rail dépend de la solution de drainage choisie.
- Les pentes représentées des matériaux mis en place peuvent différer de la réalité en fonction du procédé et du déroulement de la construction.

Légende

a	Balayage plus profond Lit de ballast, voir section 7.1
b	Lit de gravier, cf. chapitre 7, section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. et pré-gravillonnage, cf. section 9.3.3
c	couche de fondation, cf. section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
d	Sable à graviers PSS, voir section 8.2.4
e	Couche de barrage, voir section 8.2.3
f	couche barrière minérale, cf. section 8.2.3
g	Couverture de la banquette, cf. section 5.8.3
h	Banquet, voir les sections 5.8 et 6.8
i	Drainage de talus
j	Support de banquette, voir section 6.8.3

Illustration A7 -A71

A7.2 Structure de la couche "AC Rail" (pour E1-3 et N1-3) et "Sable de gravier PSS" (pour E1-4)



Remarques sur l'illustration :

- Les détails concernant le drainage de la chaussée sont présentés dans l'annexe A8.
- La largeur du AC Rail dépend de la solution de drainage choisie.
- Les pentes représentées des matériaux mis en place peuvent différer de la réalité en fonction du procédé et du déroulement de la construction.

Légende

a	Balayage plus profond Lit de ballast, voir section 7.1
b	Lit de gravier, cf. chapitre 7 , section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. et pré-gravillonnage, cf. section 9.3.3
c	couche de fondation, cf. section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
d	Sable à graviers PSS, voir section 8.2.4
e	Couche de barrage, voir section 8.2.3
f	couche barrière minérale, cf. section 8.2.3
g	Couverture de la banquette, cf. section 5.8.3
h	Banquet, voir les sections 5.8 et 6.8
i	Drainage de talus
j	Support de banquette, voir section 6.8.3

Illustration A7 -A72

A7.3 Structure de couche "Sable de gravier PSS" (pour E1-4) et AC Rail pour (E1-3)

Remarques sur l'illustration :

- Les détails concernant le drainage de la chaussée sont présentés dans l'annexe A8.
- La largeur du AC Rail dépend de la solution de drainage choisie.
- Les pentes représentées des matériaux mis en place peuvent différer de la réalité en fonction du procédé et du déroulement de la construction.

Légende

a	Balayage plus profond Lit de ballast, voir section 7.1
b	Lit de gravier, cf. chapitre 7, section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. et pré-gravillonnage, cf. section 9.3.3
c	couche de fondation, cf. section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
d	Sable à graviers PSS, voir section 8.2.4
e	Couche de barrage, voir section 8.2.3
f	couche barrière minérale, cf. section 8.2.3
g	Couverture de la banquette, cf. section 5.8.3
h	Banquet, voir les sections 5.8 et 6.8
i	Drainage de talus
j	Support de banquette, voir section 6.8.3

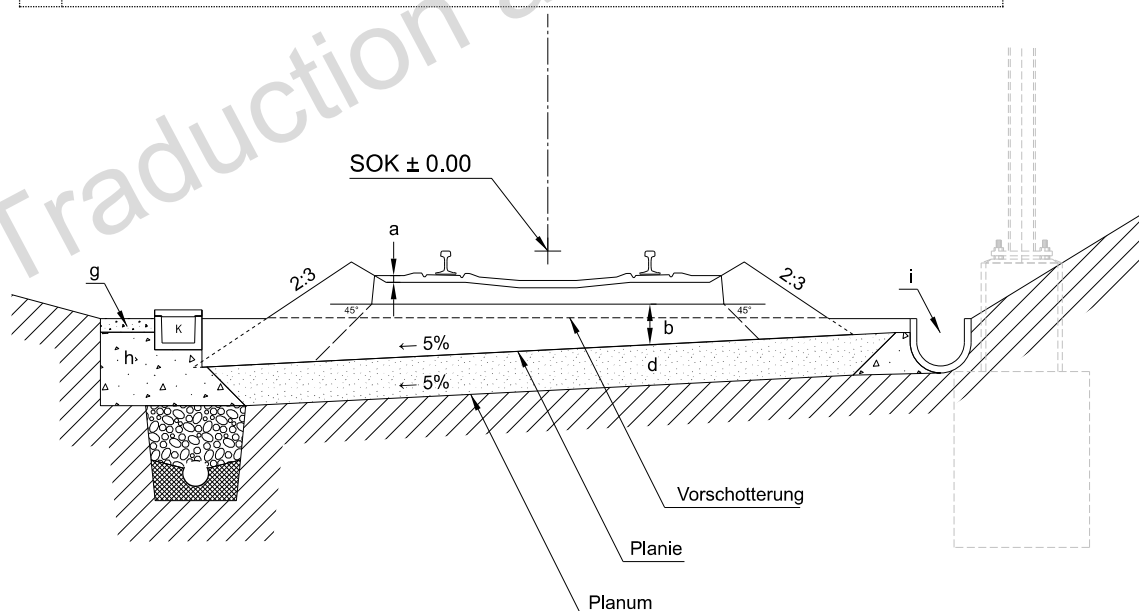


Illustration A7 -A73

Remarques sur l'illustration :

- Les détails concernant le drainage de la chaussée sont présentés dans l'annexe A8.
- La largeur du AC Rail dépend de la solution de drainage choisie.
- Les pentes représentées des matériaux mis en place peuvent différer de la réalité en fonction du procédé et du déroulement de la construction.

Légende

a	Balayage plus profond Lit de ballast, voir section 7.1
b	Lit de gravier, cf. chapitre 7, section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. et pré-gravillonnage, cf. section 9.3.3
c	couche de fondation, cf. section Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
d	Sable à graviers PSS, voir section 8.2.4
e	Couche de barrage, voir section 8.2.3
f	couche barrière minérale, cf. section 8.2.3
g	Couverture de la banquette, cf. section 5.8.3
h	Banquet, voir les sections 5.8 et 6.8
i	Drainage de talus
j	Support de banquette, voir section 6.8.3

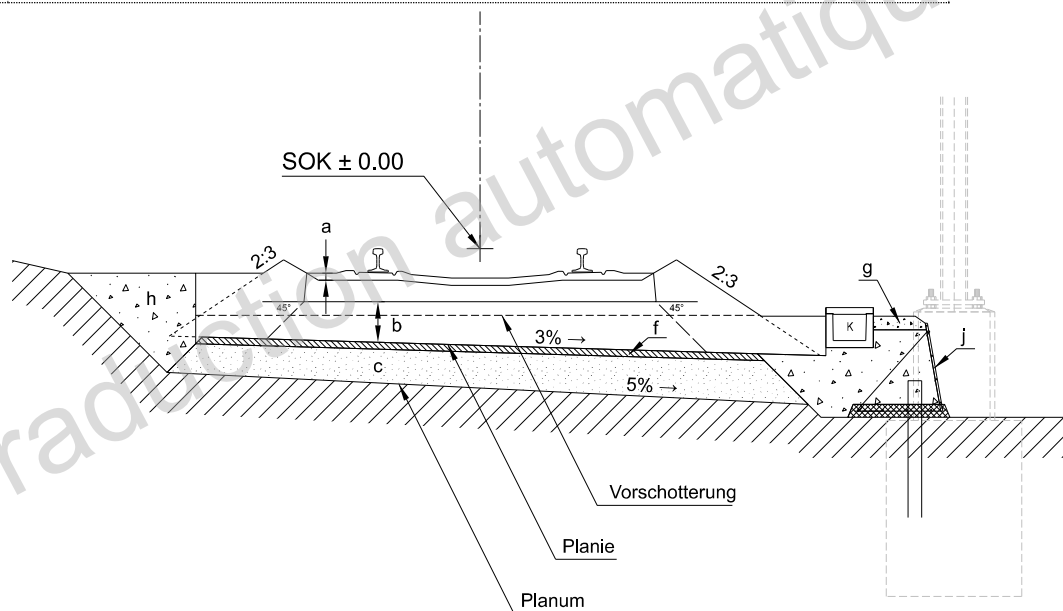


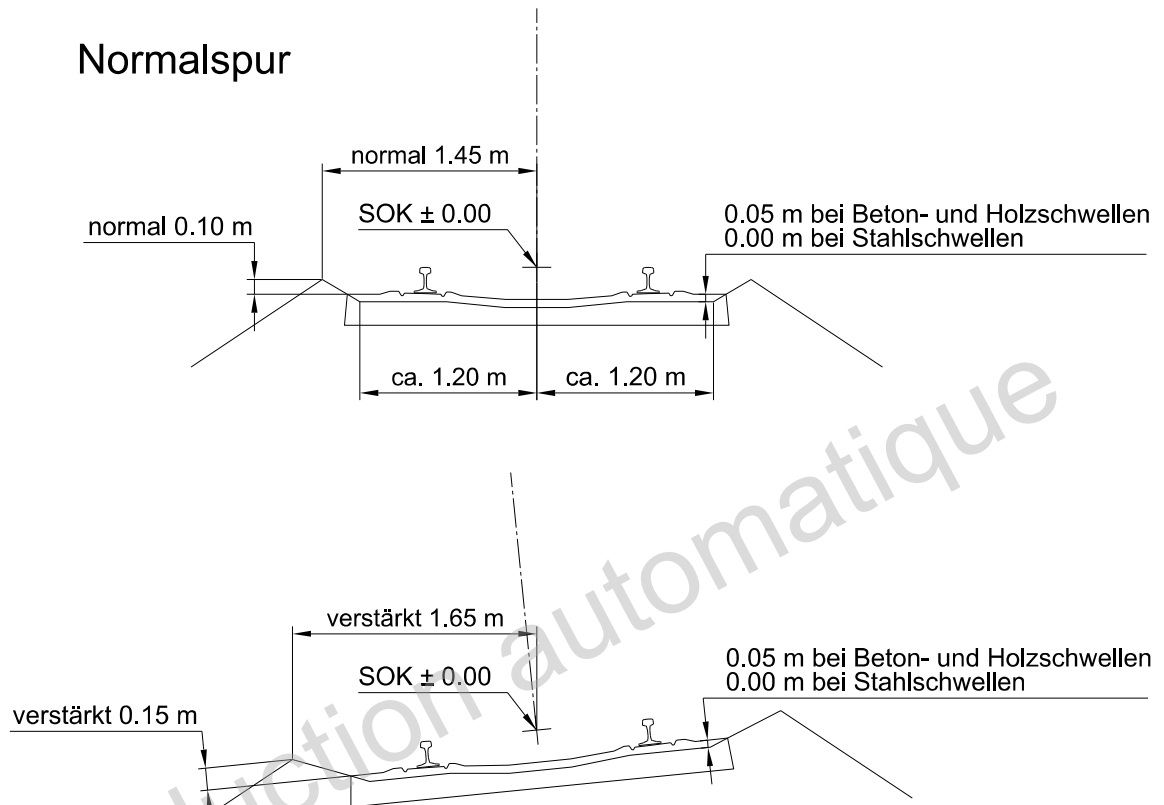
Illustration A7 -A74

A7.4 Profil de lit de ballast pour voie normale et voie métrique

Remarques sur les illustrations :

- Les détails concernant le drainage de la chaussée sont présentés dans l'annexe A8.
- Les pentes représentées des matériaux mis en place peuvent différer de la réalité en fonction du procédé et du déroulement de la construction.

Normalspur



Meterspur

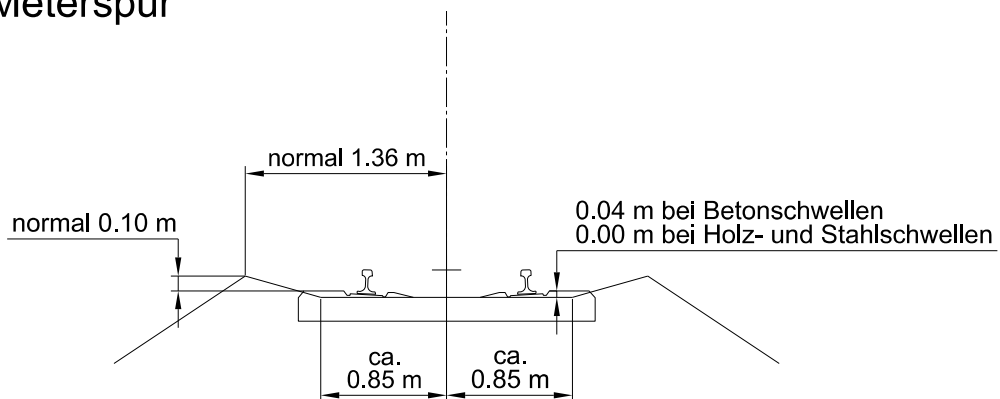


Illustration A7 -A75

A7.5 Détails de drainage pour les lignes existantes (voie normale)

Remarque sur l'illustration :

- Les détails concernant le drainage de la chaussée sont présentés dans l'annexe A8.

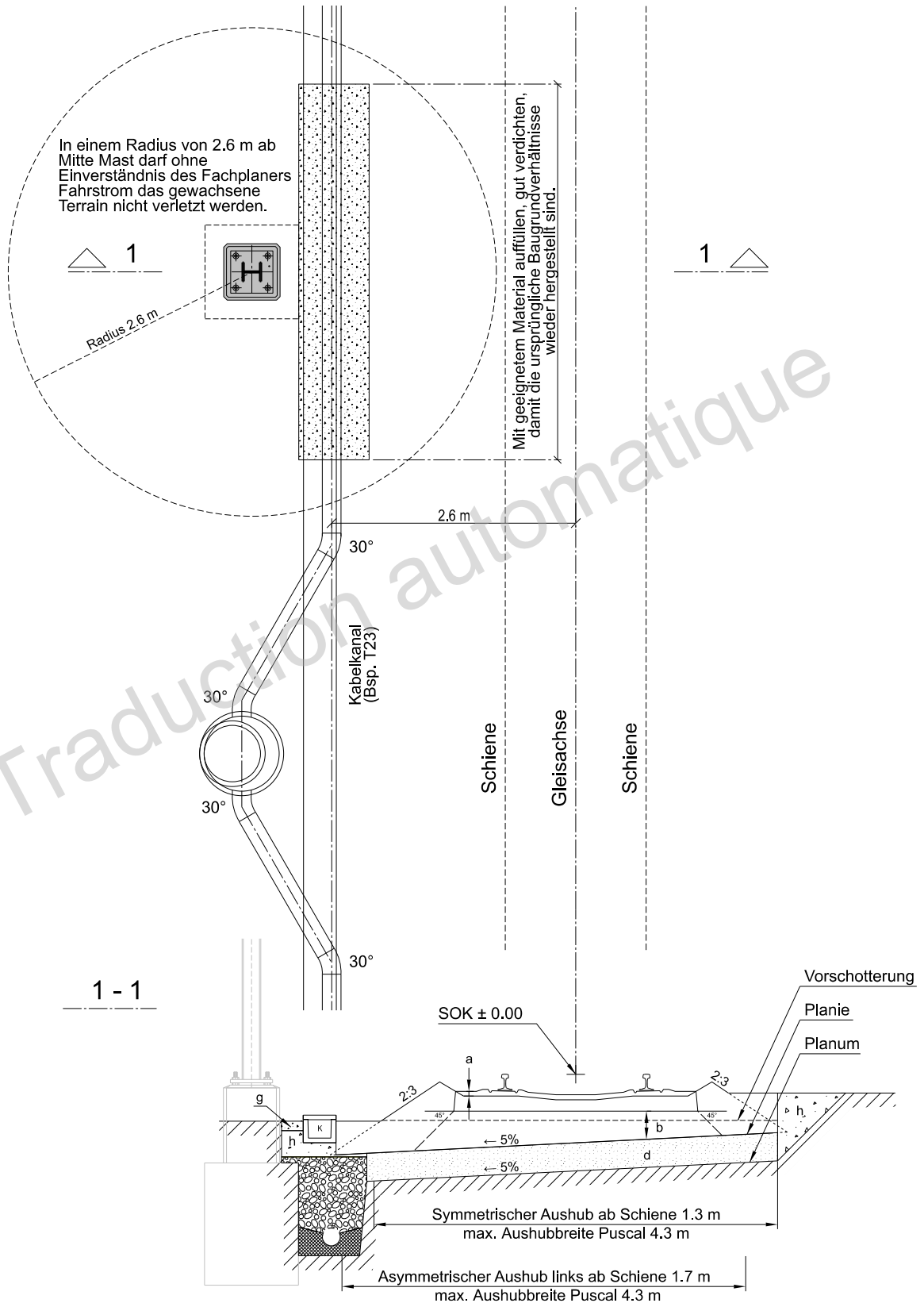


Illustration A7 -A76

A8 Drainage de la chaussée

(Compléments aux sections **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** et **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

A8.1 Champ d'application et généralités

Les règles suivantes s'appliquent au drainage de :

- nouvelles lignes, élargissement à plusieurs voies et
- Tronçons pour lesquels le projet prévoit une modification importante au sens de l'OEaux (RL OFT/OFEV[1]).

Les systèmes de drainage des pentes ne sont pas abordés plus en détail dans la présente annexe.

A8.2 Choix du mode de drainage

Le choix du mode d'évacuation des eaux doit en principe être effectué conformément aux directives OFT/OFEV[1] . L'infiltration diffuse dans le sous-sol, l'infiltration dans l'accotement ou l'évacuation sont toutes deux possibles.

Après avoir clarifié les types d'élimination possibles, il convient également de déterminer, sur la base de comparaisons LCC, la variante la plus appropriée pour l'ensemble du système (chaussée, contrôle de la végétation, drainage en dehors de la zone des voies, traitement des eaux usées, etc.

A8.3 Capacité hydraulique du drainage

Le drainage doit être dimensionné de manière à ce que l'eau puisse être évacuée suffisamment rapidement de la superstructure et de l'infrastructure.

En tenant compte de la capacité d'infiltration du sol (valeur k selon Darcy), qui est présentée dans le rapport géotechnique, Tableau A8 -A81 de cette annexe représente les types de profils.

A8.4 Exigences relatives aux matériaux

A8.4.1 Galets de suintement

Ballast usagé non pollué, lavé ou dépoussiéré 16/32,
Ballast de voie RC 32/50,
Gravier rond 16/32 ou 32/50,
Ballast concassé 16/32 ou 32/50.

A8.4.2 Sable

Sable rond ou concassé lavé $\frac{1}{4}$

A8.4.3 Béton pour semelles

Les exigences relatives au béton de la semelle sont conformes à la norme SN EN 206 :

- Classe de résistance à la compression : C12/15
- Classe d'exposition : XC0(CH)
- Valeur nominale Grain max : D_{\max} 32
- Classe de la teneur en chlorure : Cl 0,10
- Classe de consistance : C3

A8.5 Types de drainage

Ci-dessous sont définis les types de drainage en fonction de la topographie et du type de drainage. Ces types sont décrits dans Tableau A8 -A81 et illustrés dans les pages suivantes.

Aperçu des types de drainage/vérification de la capacité hydraulique

Typ e	Type de drainage	Situation	Type de drai- nage	Valeur k [m/s] Fond de fouille
1	Talus	Digue Entrée en	Infiltration Évaporation	---
2a	Fossé ferroviaire avec surface recouverte de végéta-	Incision Entrée en	Infiltration Évaporation	---
2b	Fossé ferroviaire avec surface recouverte de végétation et	Incision Entrée en	Dériver avec Prétraitement	---
3a	Fossé d'infiltration	Incision Niveau	Infiltration	$k > 10^{-4}$
3b	Tranchée d'infiltration avec tuyau d'infiltration plein	Incision Niveau	Disperser Infiltration	$10^{-4} \geq k > 10^{-5}$
3c	Tranchée d'infiltration avec tuyau d'infiltration par-	Incision Niveau	Infiltration Évacuer	$10^{-5} \geq k > 10^{-6}$
4a	Évacuation sans étanchéité de la tran-	Incision Niveau	Dériver	$k \leq 10^{-6}$
4b	Dérivation avec étanchéité de la tran-	Incision Niveau	Dériver	---
5	Infiltration diffuse	Incision Niveau	Infiltration	---

Tableau A8 -A81 : Aperçu des types de drainage.

Sur les roches de haute altitude, il est possible de mettre en place une demi-coquille ouverte pour le drainage de la surface/du sol au lieu d'un système de drainage profond. La demi-coquille doit cependant dans tous les cas drainer la plate-forme et évacuer les eaux de surface de la roche.

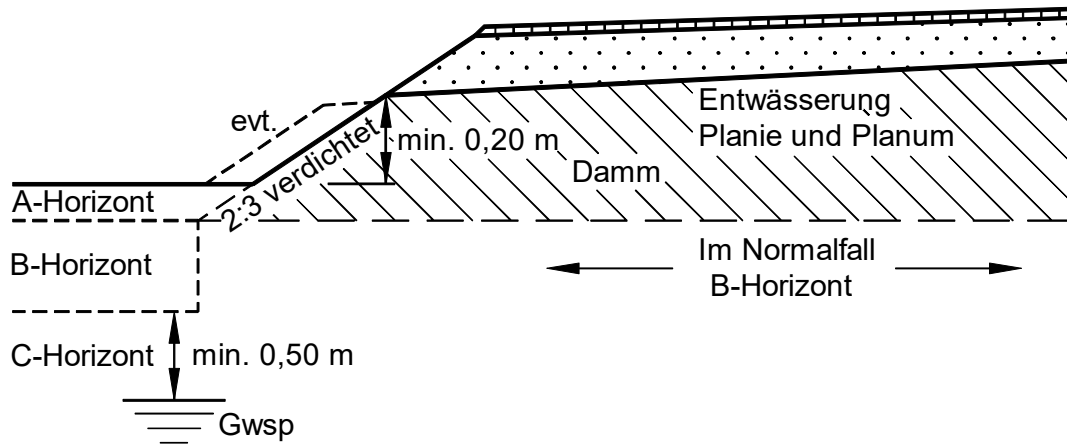


Illustration A8 -A82 : Drainage de type 1, talus.

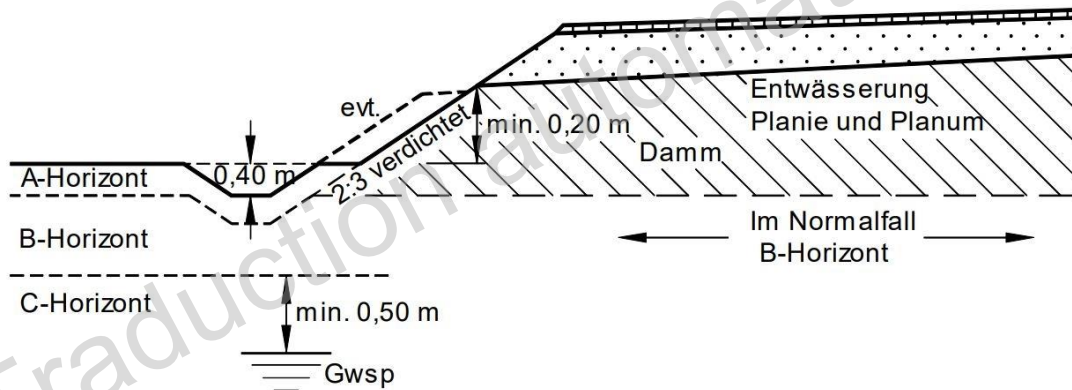


Figure A8 -A83 : Drainage de type 2a, fossé ferroviaire avec surface végétalisée

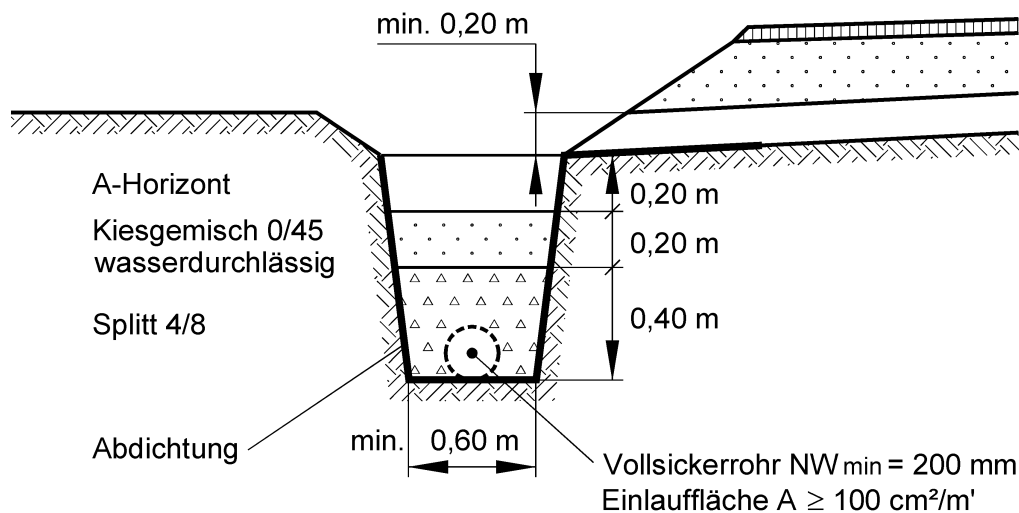


Figure A8 -A84 : Drainage de type 2b, tranchée ferroviaire avec surface végétalisée et étanchéité.

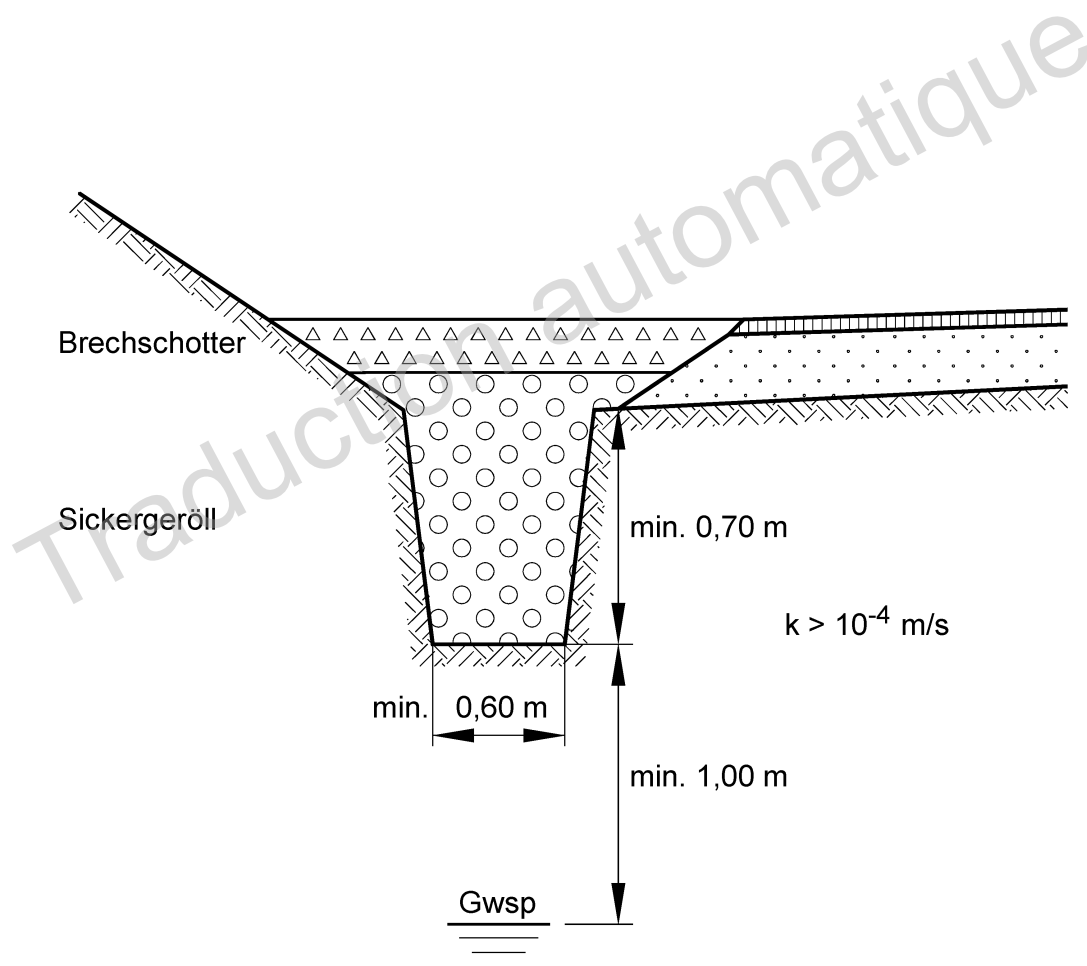


Illustration A8 -A85 : Drainage de type 3a, fossé d'infiltration (galets d'infiltration).

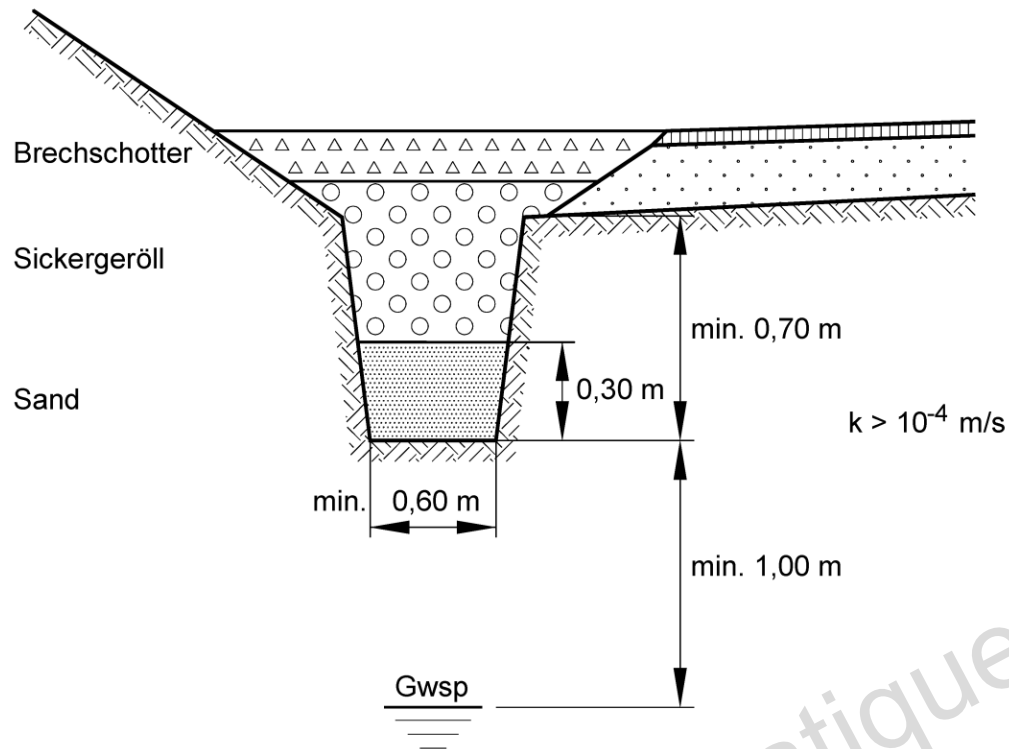


Figure A8 -A86 : Drainage de type 3a, fossé d'infiltration (galets d'infiltration, sable).

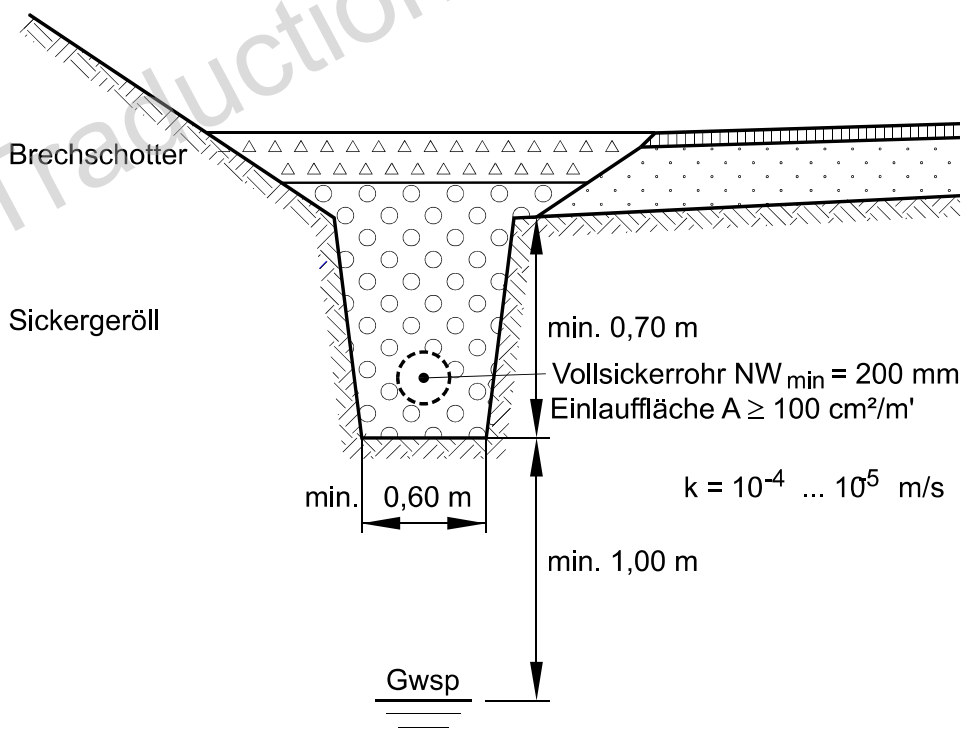


Illustration A8 -A87 : Drainage de type 3b, tranchée d'infiltration avec tuyau d'infiltration plein (galets d'infiltration).

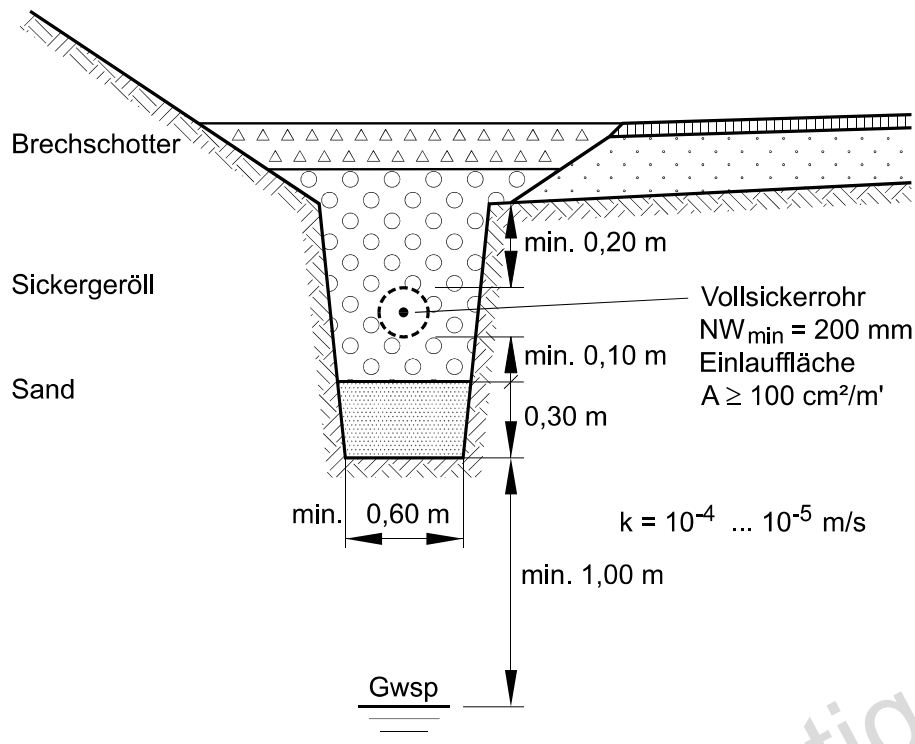


Illustration A8 -A88 : Drainage de type 3b, tranchée drainante avec tuyau d'infiltration plein (sable, galets d'infiltration).

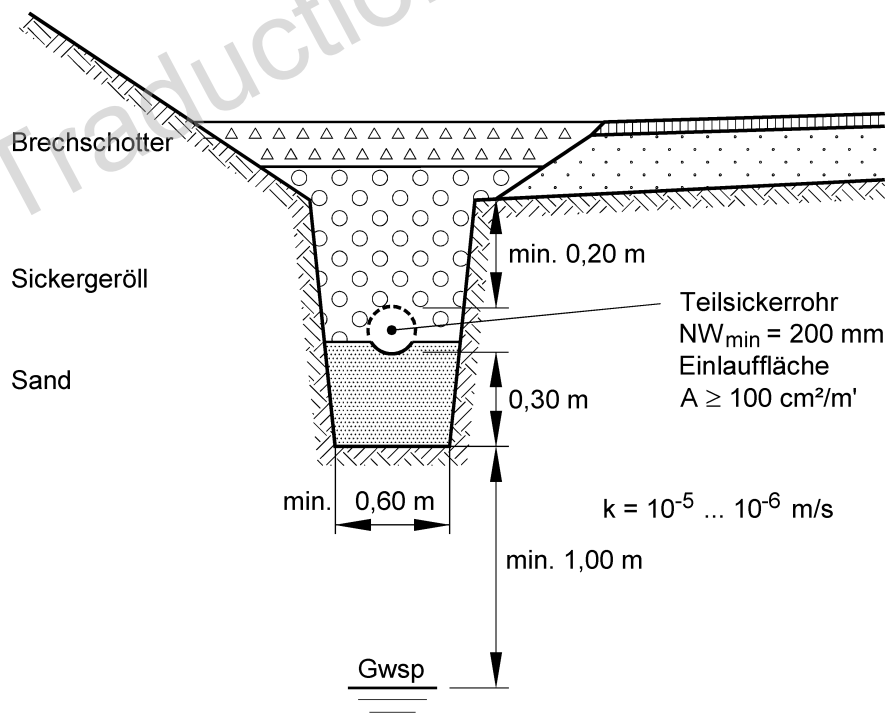


Illustration A8 -A89 : Drainage de type 3c, tranchée d'infiltration avec tuyau d'infiltration partielle.

Pour ce type de drainage, il faut vérifier l'admissibilité de l'infiltration et du rejet dans un cours d'eau.

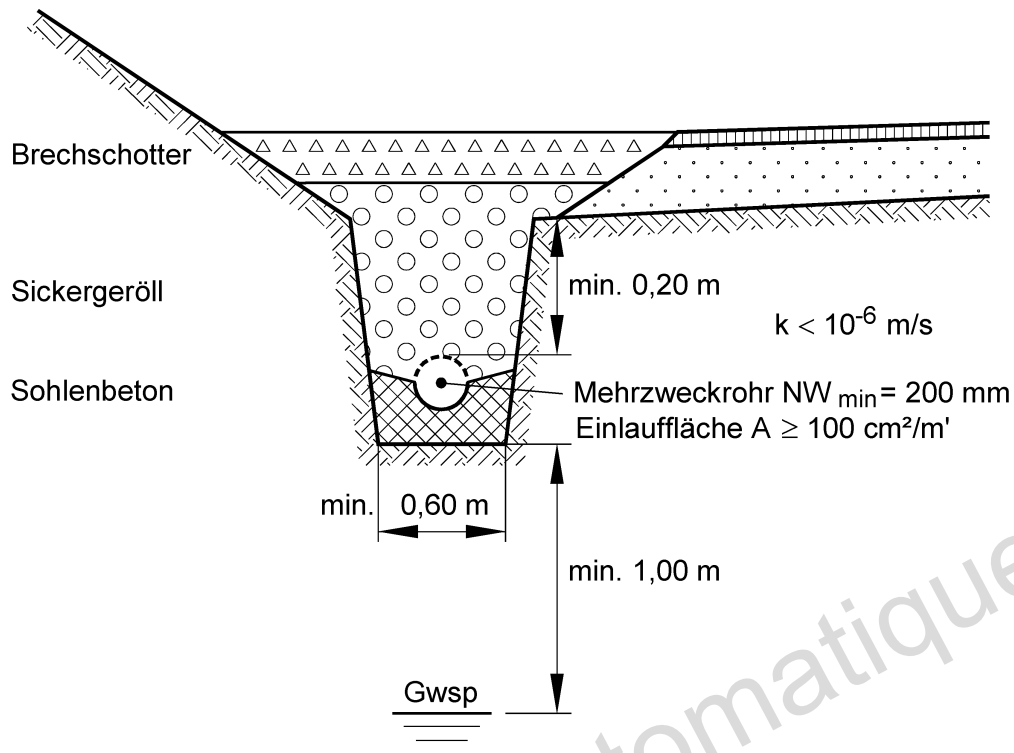


Illustration A8 -A810 : Drainage de type 4a, évacuation sans étanchéité de la tranchée.

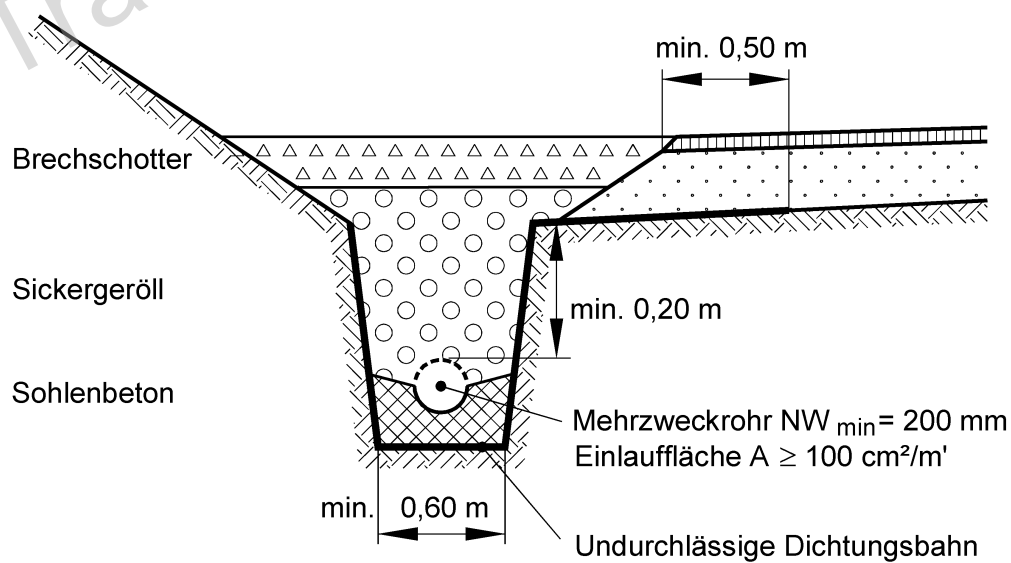


Figure A8 -A811 : Drainage de type 4b, dérivation avec étanchéité de la tranchée (nouvelle construction).

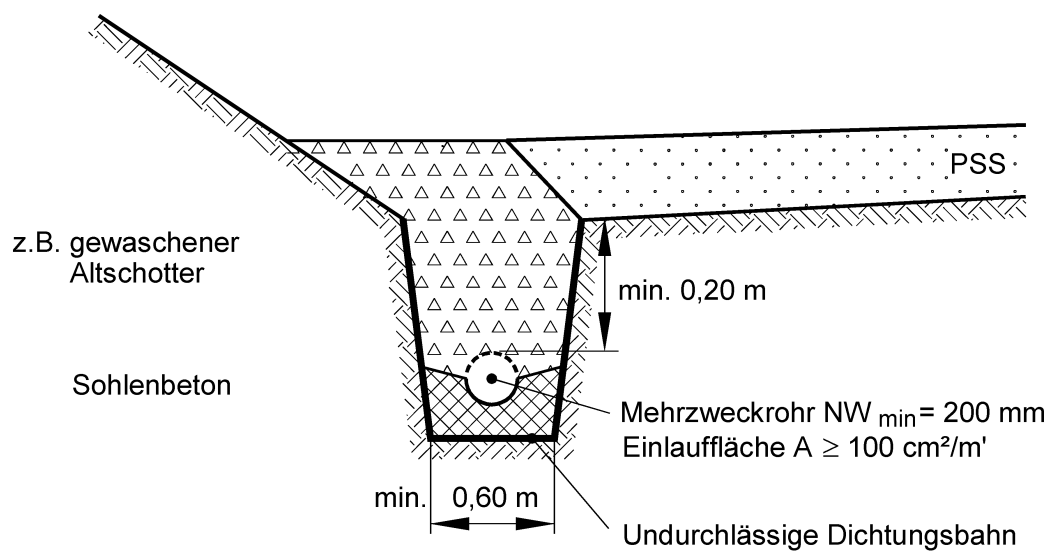


Figure A8 -A812 : Drainage de type 4b, dérivation avec étanchéité du fossé (conservation).

A9 Indices de gel et profondeurs de gel pour le dimensionnement de nouvelles constructions avec une superstructure en ballast

(compléments aux sections 5.3 et 6.3)

Indices de gel et profondeurs de gel

Lieu	Indice de gel FI [°C-jours]	Profondeur de gel X [m] ^{*)} $X = 0.00077 \cdot FI + 0.53$
Aarau	100	0.68
Airolo	122	0.68
Altdorf	68	0.68
Altstätten SG	117	0.68
Bâle	108	0.68
Bellinzona	48	0.68
Berne	114	0.68
Bienne	97	0.68
Brigue	138	0.68
Coire	105	0.68
Davos	490	0.91
Delémont	115	0.68
Frauenfeld	142	0.68
Fribourg	110	0.68
Genève	55	0.68
Glaris	110	0.68
Göschenen	184	0.68
Kreuzlingen	110	0.68
La Chaux-de-Fonds	173	0.68
Langnau i.E.	134	0.68
Lausanne	58	0.68
Locarno	23	0.68
Lugano	14	0.68
Lucerne	94	0.68
Martigny	70	0.68
Meiringen	102	0.68
Montreux	61	0.68
Muri AG	96	0.68
Neuchâtel	80	0.68
Olten	100	0.68
Rheinfelden	106	0.68
Romont	135	0.68
Rorschach	106	0.68
Sargans	108	0.68
Schaffhouse	122	0.68
Sion	92	0.68
Soleure	100	0.68
Saint-Gall	140	0.68
Thoune	106	0.68
Wädenswil	104	0.68
Winterthur	121	0.68
Yverdon-les-Bains	82	0.68
Zurich	121	0.68
Train	87	0.

A10 Infrastructure dans les tunnels : indications pour l'étude de projets de nouvelles constructions et de rénovations

(Compléments aux sections 5.11 et 6.10)

A10.1 Fond rocheux instable à l'eau

Si la surface de la roche ne peut pas se désagréger en roche meuble en cas d'infiltration d'eau et sous la charge du trafic pendant la durée d'utilisation prévue, elle est stable à l'eau (p. ex. granit à grain fin, calcaire dur). En revanche, certains types de roches (argile, schiste argileux, marne, marne calcaire, grès avec couches de marne, etc.

Si, dans le cas d'une superstructure sans ballast, la superstructure en gravier ou le tablier doit être posé directement sur un fond rocheux instable à l'eau, la surface de la roche doit d'abord être stabilisée de manière à répondre aux exigences d'un fond rocheux stable à l'eau.

Lorsque le béton est utilisé en remplacement de la roche ou comme dalle de couverture, il faut en principe partir du principe que des fissures se forment dans le béton.

Si de l'eau s'accumule à la surface du matériau de substitution et peut s'infiltrer par des fissures sur la surface rocheuse instable à l'eau, ou si de l'eau de montagne peut s'infiltrer par le bas à travers la roche (p. ex. à travers des fissures rocheuses), il faut veiller à ce que l'eau s'écoule sans pression dans le système de drainage du tunnel au moyen de drains de surface continus et à rupture de capillarité.

A aucun moment et en aucun cas, il ne doit y avoir de pression d'eau entre le matériau de substitution et la roche sous la charge du trafic. Dans le cas de sols saturés et soumis à une surpression d'eau interstitielle, des effets de pompage peuvent se produire après un laps de temps relativement court, faisant remonter les mélanges eau-sol, ce qui peut entraîner des dommages importants avec des conséquences financières élevées et des restrictions d'exploitation sensibles.

Des mesures constructives doivent être prises pour éviter que la surface de la roche ne s'érode pendant la phase d'utilisation du tunnel et que les particules fines qui en résultent ne soient pompées par des fissures ou des joints dans la zone de la chaussée.

A10.2 Déformations

Les déformations du lit rocheux se répercutent sur la chaussée, raison pour laquelle elles doivent être évaluées lors de la phase de planification. Il faut notamment distinguer les déformations dues aux sources, celles dues aux déplacements de contraintes et celles dues à la tectonique.

A10.2.1 Déformations dues aux sources

L'intercalation d'eau dans les minéraux argileux et la transformation de l'anhydrite en gypse entraînent une augmentation de volume appelée "gonflement". Les couches gonflantes d'argilite, d'anhydrite et de roche mixte argilo-anhydrite, en particulier lorsqu'elles affleurent dans le fond du tunnel ou dans la zone de décharge située en dessous, entraînent des soulèvements du fond.

Le potentiel de gonflement (degré de gonflement et pression de gonflement) doit être évalué et pris en compte lors du dimensionnement. Si le soulèvement du radier doit être évité, une voûte de radier avec un rayon le plus petit possible est nécessaire. Sans voûte de fond ou avec une voûte de fond de trop grand rayon (cas extrême de la dalle de fond), les soulèvements de fond ne sont pas évités.

A10.2.2 Autres déformations

Lors de l'excavation du tunnel, des tensions sont transférées et génèrent des déformations plastiques lorsque la résistance est dépassée. Ces déformations ne disparaissent que lorsqu'un nouvel état d'équilibre est atteint.

La formation des montagnes n'est par exemple pas terminée dans la région des Alpes, ce qui entraîne un soulèvement relatif par rapport au Plateau d'environ 1 à 2 mm par an.

Il est essentiel de savoir si ce soulèvement se produit de manière uniforme sur le tronçon du tunnel ou s'il faut s'attendre à des soulèvements différentiels en raison de zones de perturbation tectonique.

Le cas échéant, les déformations estimées doivent être vérifiées par des mesures techniques pendant la construction. Des mesures techniques de construction doivent être prises afin d'éviter toute déformation inadmissible du radier du tunnel pendant la phase de construction et d'utilisation.

A10.3 Remplissage du profil circulaire avec superstructure sans ballast

Comme matériau de remblayage, on utilisera du gravier composé de granulats adaptés, résistants, durs et cubiques selon l'annexe A2A2.

Si les graviers sont stabilisés avec du ciment, il faut veiller à ce que le dosage en ciment soit minimal. Si l'on utilise du béton, il faut le préparer de manière uniforme et aussi dense que possible. Des mesures appropriées doivent être prises pour éviter de mettre en danger les drainages par le frittage et la dalle de support de la voie par les fissures qui se forment dans le gravier stabilisé au ciment ou dans le béton, par exemple en raison du retrait.

Le compactage optimal du remblai et son maintien à sec pendant la construction et l'exploitation du tunnel sont les facteurs décisifs pour un comportement de vieillissement favorable de l'infrastructure et pour éviter les dommages pendant la phase d'utilisation. Une couche supérieure d'au moins 0,5 m d'épaisseur doit être drainée en permanence et ne doit pas contenir d'eau sous tension. La densité sèche à atteindre par le compactage est de 103 % de la densité Proctor modifiée.