

FB 400-0206

Etudes du lit de ballast



Valable dès le: 01.01.2018
Prochain révision: 01.01.2020
Statut: active
DMS ID et version: 67003198, version 01
Nom du fichier: FB 400-0206_Etudes du lit de ballast.docx

Signature du verificateur



Norbert Krebs
Chef I-AT-FW-TAFB

Signature de l'auteur



Kilian Gerber
I-AT-FW-TAFB-UGT

Sommaire

1	Généralités	4
1.1	Situation initiale et objectifs	4
1.2	Champ d'application	4
1.3	Contribution au présent document	4
1.4	Documents supérieurs et afférents.....	5
1.5	Termes et abréviations	5
2	Nécessité de réaliser des études du lit de ballast.....	5
2.1	Vue d'ensemble des différents types d'étude.....	5
2.1.1	Étude géotechnique	5
2.1.2	Étude du lit de ballast	6
2.1.3	Étude du terrain naturel	6
2.2	Arbre décisionnel aidant au choix de l'étude à effectuer.....	7
3	Commande d'études du lit de ballast.....	9
3.1	Documents à remettre par le chef de projet	9
4	Planification des sondages.....	9
4.1	Sur les voies	9
4.2	Dans les zones d'appareils de voie	10
4.3	Sur une infrastructure rigide	10
5	Exécution des sondages dans le lit de ballast	11
5.1	Ouverture et remplissage des fouilles de sondage	11
5.1.1	Indications générales.....	11
5.1.2	Procédure	11
5.2	Résumé des étapes de travail lors de sondages dans le lit de ballast.....	14
5.3	Outillage nécessaire	14
6	Description du lit de ballast	14
6.1	Aptitude au criblage du ballast	15
6.2	Aptitude au bourrage	16
6.3	Épaisseur du lit de ballast.....	17
7	Description de l'infrastructure et du drainage	18
7.1	Description de la couche de base	18
7.2	Description de la déformabilité	18
7.2.1	Indice de déformabilité à l'aide du déflectomètre à masse tombante (LFG).....	18
7.2.2	Indication de la déformabilité selon la structure des couches.....	19
7.3	Indication de la stabilité de filtre et de la résistance au gel	20
7.4	Sondages au pénétromètre à rainure.....	21
7.5	Description des conditions de drainage.....	21
8	Prélèvement d'échantillons (pour analyse chimique de matières polluantes).....	22
8.1	Outils nécessaires	22
8.2	Lieu de prélèvement	22
8.3	Procédure de prélèvement d'échantillons	22
8.3.1	Prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie sans assainissement de l'infrastructure	22
8.3.2	Prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie avec assainissement de l'infrastructure et séparation des déblais de voies	23
8.3.3	Prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie avec assainissement de l'infrastructure et mélange des déblais de voies	23
8.4	Analyse chimique.....	24

9	Rédaction du rapport des études du lit de ballast	24
9.1	Contenu du rapport des études du lit de ballast.....	24
9.2	Archivage des données	26
10	Liste des modifications	26

ANNEXES

A1: Procédure lors de l'ouverture incl. représentation – Cas normal

A2: Procédure lors de l'ouverture incl. représentation – Cas particulier

A3: Procédure lors de l'ouverture incl. représentation – Infrastructure rigide

B: Compte rendu de terrain (exemples) – Cas normaux et cas particuliers

C: Documentation de photos

D: Documentation de photos Aptitude au criblage du lit de ballast (Focus examen de l'axe de la voie)

E: Documentation de photos Aptitude au bourrage (Focus examen de la zone de bourrage)

F: Documentation de photos Nécessité des travaux de bourrage (Focus examen de la zone de bourrage)

G: Documentation de photos Qualité du ballast

1 Généralités

1.1 Situation initiale et objectifs

Préalablement au renouvellement de voies ferrées (FbE) ou au lancement de projets de construction de voies sur des installations existantes, il est nécessaire de recueillir diverses informations sur l'état du lit de ballast et, le cas échéant, sur l'infrastructure, le terrain naturel et le drainage. Les informations collectées permettent alors d'étudier et de planifier les mesures de renouvellement correspondantes.

Ces informations sont généralement rassemblées à l'occasion d'une **étude géotechnique** réalisée par I-AT-FW-TAFB-UGT quatre ans avant le FbE ou dans le cadre d'un projet commandé par PJ auprès d'I-AT-FW-TAFB-UGT.

La nécessité de réaliser une étude géotechnique est définie au chapitre 5.1 5.1 du règlement R RTE 21110 «Infrastructure et ballast». Cette étude convient aussi bien pour les FbE que pour les projets.

Les cas plus simples peuvent être couverts par des **études du lit de ballast**, le plus souvent commandées par I-PJ-FBG-FB une à trois années avant le FbE qui offre là également une possibilité de récoltes utiles d'informations. Le genre et le nombre d'informations que ces études doivent fournir est mentionné dans le présent document.

Par ailleurs, avant d'effectuer les travaux de voies et/ou d'appareils de voies, il est nécessaire de prélever des **échantillons de matières polluantes** pour déterminer le meilleur moyen de les éliminer. Les fouilles engagées pour le prélèvement de matières polluantes seront utilisées simultanément pour les études du lit de ballast.

Avec les sondages géotechniques, cette combinaison est possible.

Hors zones des voies ferrées existantes, des **études du terrain naturel**, commandés par PJ (voie ferrée ou génie civil), sont généralement entreprises. Les résultats sont à remettre à I-AT-FW-TAFB-UGT pour l'archivage dans la banque des données des rapports géotechniques.

Ce document définit la marche à suivre pour réaliser des études du lit de ballast. De plus, il présente la délimitation des possibilités de tels sondages par rapport aux sondages géotechniques. On profitera toujours des fouilles entreprises pour recueillir un maximum d'informations. Cela évite de devoir refaire des sondages au même endroit peu de temps après.

1.2 Champ d'application

Le présent document remplace le règlement I-50016 «Études du lit de ballast» (dans sa version 3-0 du 1.3.2015) et concerne les études du lit de ballast seulement. Il ne traite pas de l'exécution des études géotechniques.

1.3 Contribution au présent document

Pour sa création, le présent document rassemble les textes du R I-50016, des documents de formation concernant l'exécution des études géotechniques ainsi que ceux du travail de CAS GF de A. Torres (I-PJ-RWT-FG) réalisé en 2016 et supervisé par I-AT-FW-FBTE-UGT

1.4 Documents supérieurs et afférents

En complément au R RTE 21110 «Infrastructure et ballast», le présent document décrit la nécessité de réaliser et d'exécuter des études du lit de ballast.

La directive sur les déblais de voie (OFT, 2002) décrit la procédure de prélèvement d'échantillons de matières polluantes. L'élimination des déblais de voies est défini dans le règlement I-50072. On y trouve également les documents de suivi pour le prélèvement des échantillons.

1.5 Termes et abréviations

Défectomètre à masse à masse tombante	Light Falling Weight Deflectometer, déflectomètre à masse tombante légère (essai de plaque dynamique)
Déformabilité	Les termes «déformabilité» et «module de déformation» définissent le comportement structurel des systèmes géotechniques structuraux du chemin de fer. L'utilisation du terme «déformabilité» à la place du terme «portance», jusqu'à présent employé dans la construction des voies de communication, doit prendre en compte le fait que le terme «portance» (selon les normes actuelles sur les structures) décrit l'état limite de la portance, tandis que le terme «déformabilité» se rapporte à l'état limite de l'aptitude au service.

2 Nécessité de réaliser des études du lit de ballast

Seules des études de la voie peuvent permettre de définir le moyen d'éliminer les déblais de voie et de recueillir des informations sur l'état, l'épaisseur et le degré de contamination du lit de ballast ainsi que sur l'épaisseur et la nature de l'infrastructure, du terrain naturel et du système d'évacuation des eaux de la voie ferrée. On appliquera le principe qu'aucune transformation ne peut être effectuée sans étude préalable. Il existe trois études distinctes:

- l'étude géotechnique;
- l'étude du lit de ballast;
- l'étude du terrain naturel.

L'étendue des études dépend de plusieurs facteurs comme présentés ci-après.

2.1 Vue d'ensemble des différents types d'étude

2.1.1 Étude géotechnique

Conformément au chapitre 5.1 du règlement R RTE 21110, une étude géotechnique est nécessaire dans les cas suivants:

concernant les groupes de charge des voies¹ E1 et E2, toujours lorsque

¹ Les groupes de charge des voies sont définis au chapitre 3.6 du R RTE 21110 «Infrastructure et ballast».

Désignation	Groupes de charge des voies Nouvelle construction (N) ou Maintenance (E)			
	N1/E1	N2/E2	N3/E3	N4/E4
Charge future [TBC/j]	> 30 000	15 000 – 30 000	5000 – 15 000	< 5000
Vitesse future [km/h]	ou ≥ 160	ou ≥ 80	-	-

- un remplacement des traverses en bois par des traverses en béton est prévu,
- la maintenance de traverses en béton est planifiée,
- un problème de stabilité de la voie ou de l'infrastructure est observé ou
- lors de l'accroissement de la sollicitation de la voie, on ne peut pas exclure que des difficultés surgissent.

Concernant les groupes de charge des voies E3 à E4, une étude géotechnique ne sera menée que si les traverses existantes doivent être remplacées par des traverses en béton et, également, chaque fois:

- qu'il existe d'importants problèmes d'infrastructure et
- que des sollicitations nettement plus élevées sont prévues.

Les études géotechniques doivent être commandées auprès d'I-AT-FW-TAFB-UGT. Par la suite, il sera décidé si l'étude géotechnique sera effectuée par I-AT-FW-TAFB-UGT ou commandée par I-AT-FW-TAFB-UGT à un bureau externe. Les rapports des études géotechniques doivent être contrôlés par I-AT-FW-TAFB-UGT, étant donné qu'ils contiennent l'information complémentaire concernant les mesures qui peuvent être prises au niveau de l'infrastructure.

Dans tous les autres cas concernant des installations de voie existantes, des études du lit de ballast (organisés par PJ) sont suffisantes.

Le rapport géotechnique inclut le prélèvement d'échantillons de matières polluantes. Il arrive fréquemment que le prélèvement de matières polluantes soit commandé par PJ au cours du projet (pour définir le périmètre de zones fortement sollicitées, par exemple).

L'exécution des études géotechniques reste souvent ouverte en cas de problèmes liés à la mécanique des sols (couches meubles, instabilité du remblai profond) ou aux dangers naturels (glissements de terrain, inondations), mais également pour déterminer le meilleur système d'évacuation des eaux. Ce qui signifie en bref que les enquêtes correspondantes (p. ex. concernant les forages, les mesures de stabilisation des talus, les tests d'infiltration) doivent être organisées resp. définies par PJ.

2.1.2 Étude du lit de ballast

Des études du lit de ballast sont à prévoir pour toutes les mesures de renouvellement sur des voies ou des aiguilles existantes, pour autant qu'il ne soit pas nécessaire d'effectuer une étude géotechnique selon chapitre 2.1.1 ; c'est-à-dire surtout pour les groupes de charge de voies E3 et E4.

Dans ce cas, les prélèvements de matières polluantes et le relevé de l'état du ballast et de l'infrastructure pour définir les mesures de renouvellement appropriées doivent être organisés par PJ lui-même.

Les mesures de renouvellement mises en œuvre par PJ dans le cadre des études du lit de ballast seront examinées par I-AT-FW-TAFB-UGT.

2.1.3 Étude du terrain naturel

Des études du terrain naturel sont requises lorsque les voies sont posées sur des surfaces antérieurement utilisées à d'autres usages. En cas de ripages latéraux supérieurs à 30 cm, il est également nécessaire d'effectuer une étude du terrain du fait que l'on quitte la couche de fondation existante.

Les études du terrain naturel devront comprendre l'étude géotechnique du terrain déterminant (masse spécifique à l'état humide, pente du talus, cohésion, déformabilité, risque de gel, sensibilité à l'eau, aptitude au travail des pelleteuses etc.). La capacité d'infiltration du terrain devrait autant que possible faire partie des investigations.

Celles-ci permettront principalement de déterminer si le sol de fondation existant peut servir de fondation à lui seul (pour des voies de classe inférieure, p. ex.), comment la couche de fondation à créer sur ce terrain doit être formée ou si le terrain naturel doit être renforcé avant la pose d'une couche de fondation.

En cas de ripages latéraux ≤ 50 cm, l'étude du terrain naturel peut, dans les cas simples, être effectué par l'intermédiaire d'une étude géotechnique ou d'une étude du lit de ballast. Dans ces cas, les sondages au moyen d'une pelleuse à proximité d'une installation de voie existante sont souvent difficiles.

2.2 Arbre décisionnel aidant au choix de l'étude à effectuer

La figure 1 contient l'arbre décisionnel qui permet de déterminer la nature du type d'études à effectuer. Il s'agit en fait des trois types décrits en détail au chapitre 2.1. Les études du lit de ballast sont désignées par « cas normal » et « cas particulier ». La distinction entre les deux cas est décrite dans le chapitre 5.1.2.

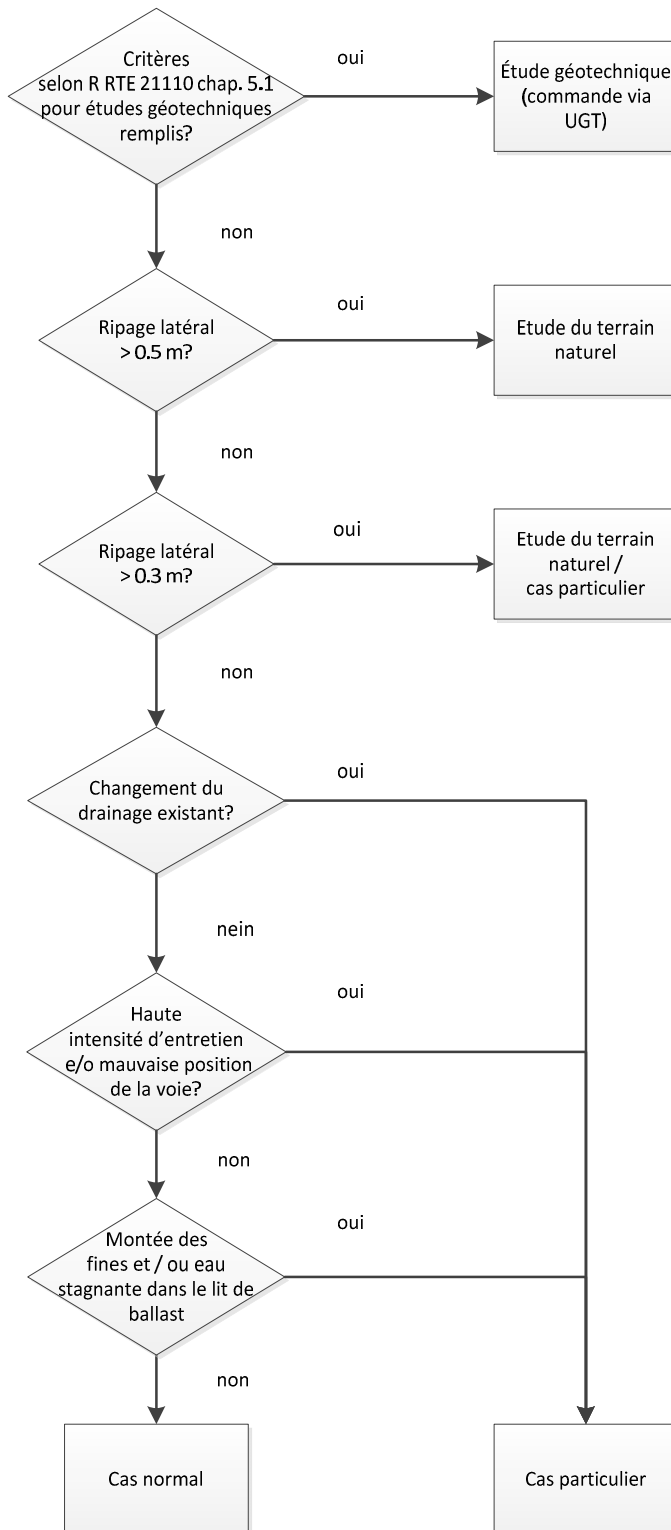


Fig. 1 : arbre décisionnel aidant au choix de l'étude à effectuer sur les installations de voies existantes; la reprise d'une étude géotechnique doit généralement être évitée.

3 Commande d'études du lit de ballast

3.1 Documents à remettre par le chef de projet

Les études du lit de ballast requièrent la remise des documents suivants:

- La demande de sondage contenant les informations générales telles que le futur groupe de charge des voies et les lieux de prélèvement des échantillons de ballast et de terrain destinés aux analyses chimiques. Le chef de projet renseignera également le responsable des sondages sur les points suivants:
 - s'il existe un risque d'affaissement de la couche de base et quelles sont les zones concernées;
 - s'il est prévu de remplacer des traverses en bois ou en acier par des traverses en béton;
 - si certaines zones exigent des travaux de maintenance importants;
 - si le véhicule de diagnostic a décelé de possibles défauts.
- Plan de situation
- Représentation graphique de la superstructure ou feuille d'appareil de voie (y.c. les données relatives à l'entretien).
- Diagrammes du wagon de mesure pour les tronçons de la pleine voie d'une longueur > 500 m.
- Documents à présenter :procès-verbal des relevés du terrain, procès-verbal du relevé des échantillons

4 Planification des sondages

La détermination de la position des sondages de l'étude du lit de ballast... bureau tiers mandaté. Le chef de projet commanditaire examine les positions de sondages proposées par le bureau tiers avant l'exécution.

4.1 Sur les voies

La planification des lieux de sondage nécessite la prise en compte des rapports de maintenance et les diagrammes du véhicule de diagnostic de l'année précédente pour la localisation d'éventuels défauts ou de zones exigeant un travail de maintenance plus important.

Le nombre de sondages dépend entre autres de

- la longueur de la zone à examiner:
 - zone < 500 m: tous les 100 à 200 m;
 - zone > 500 m: tous les 150 à 300 m.
- la topographie (plaine, remblai, tranchée, flanc de coteau, tunnel) et autres particularités locales: les tronçons de courte longueur comprenant un changement de topographie (de courtes tranchées, p. ex.) doivent également être prises en compte, de même que les espacements étroits pouvant limiter le choix des engins ou le drainage. Ces considérations peuvent nécessiter des sondages supplémentaires.
- la superstructure existante – en particulier lorsqu'il s'agit de changer de types de traverses ou de supports de traverses.

Pour éviter la multiplication des sondages, il convient de coordonner les études du lit de ballast et celles requises pour les analyses des matières polluantes (conformément à la directive sur les déblais de voie); cf. chapitre 8.

Une analyse chimique des déblais de voie est requise pour les:

- voies équipées ou anciennement équipées de traverses en bois;
- voies situées dans les zones de gare ou de garage;
- voies équipées de crémaillère;

- tronçons de voies comportant un risque de pollution avec des matières autres que HAP, BaP et HC > C10.

S'il s'avère que les déblais de voie ne sont pas contaminés, il faut tout de même procéder à une analyse chimique.

Le nombre d'échantillons à prélever s'élèvera au minimum à:

- Pour la pleine voie: 1 échantillon par 500 mètres de voie.
- Pour les voies de garage et de transbordement: 1 échantillon par 250 mètres de voie.

4.2 Dans les zones d'appareils de voie

Sur les appareils de voie, au moins un prélèvement doit être effectué à proximité des lames articulées (zone de graissage) et un autre à proximité du talon couvrant la voie droite et la voie déviée.

Les données de maintenance et les mesures déjà réalisées sur l'infrastructure doivent être archivées.

Dans la zone des lames articulées, un échantillon de matière polluante (selon la directive sur les déblais de voie) doit être prélevé (cf. chapitre 8). Dans le cas où une forte contamination est constatée, un échantillon de matière polluante doit également être prélevé au talon du branchement. Si un autre sondage est prévu immédiatement après l'appareil de voie (<100m), l'échantillon de matière polluante peut être prélevé dans ce sondage là et il n'est donc pas nécessaire de faire un prélèvement supplémentaire au talon du branchement.

4.3 Sur une infrastructure rigide

Les sondages à effectuer sur une infrastructure rigide ne correspondent pas à ceux exigés aux chapitres 4.1 et 4.2. Ils s'ajoutent à ceux-ci. Une fouille de sondage doit être effectuée pour chaque infrastructure rigide

- aux emplacements où l'espace est restreint (< 1,8 m entre la voie la plus proche et la bordure latérale), entre l'axe de la voie et le côté de la bordure;
- aux emplacements où l'espace est suffisant (≥ 1,8 m entre la voie la plus proche et la bordure latérale), dans la case entre traverses.

En voie pleine, les infrastructures rigides doivent être prises en compte lorsqu'elles se situent jusqu'à 50 mètres avant ou après la zone étudiée². Les rehaussements de voie nécessaires sur les infrastructures rigides peuvent avoir de l'influence sur les mesures de la banquette.

² Si les traverses recouvrant l'infrastructure rigide ont été renouvelées plus de 5 années auparavant.

5 Exécution des sondages dans le lit de ballast

Le relevé des sondages doit être effectué dans un kilométrage croissant en utilisant les modèles du protocole de terrain (cf. annexe B). Les espacements et objets latéraux doivent y figurer selon les modèles de l'annexe A, avec description des différentes couches.

Le déroulement des études du lit de ballast est décrit dans ce qui suit. Dans les chapitres 6 à 8, des informations complémentaires correspondantes sont disponibles.

5.1 Ouverture et remplissage des fouilles de sondage

5.1.1 Indications générales

En cas de situation météorologique incertaine, il ne faudrait pas commencer les sondages trop tôt. En cas de canicule en particulier, il ne faudrait pas réaliser les sondages sur toute la largeur de la case entre traverses, mais se limiter plutôt à l'espace situé entre les 2 rails (cas normal) ou à celui situé entre la tête de la traverse au rail.

Certains tests de terrain ne peuvent pas être effectués en cas d'intempéries (les mesures de déformabilité, par exemple). De surcroît, les résultats obtenus peuvent être faussés en présence d'eau et de gel.

Les conditions de température et météorologiques durant les sondages doivent également être relevées. Concernant les teneurs en eau, il est également important de noter le niveau des précipitations du jour précédent.

Les pelles mécaniques, les grappins etc. ne doivent être utilisés que pour l'excavation du ballast **au-dessus** de la couche de base. La couche de base doit être découverte au moyen de la fourche à ballast.

Dans le cas contraire, il en résultera des dégâts à la couche de base ou à l'infrastructure.

Le sondage doit être ensuite si possible à nouveau rempli par couches successives et compacté aussi bien que possible (p. ex. au moyen d'une plaque à damer sur la couche de base). Le déblai de voie est provisoirement entreposé dans des seaux propres afin de conserver la couche de fondation intacte. Comme cela, la couche pourra être reconstruite ultérieurement sans dégât. Le ballast doit être bourré.

5.1.2 Procédure

Sur la pleine voie, les fouilles doivent être creusées dans l'axe de la voie (entre les deux rails) (cf. annexe A.1 et A.2). Dans les appareils de voie, des sondages doivent être pratiqués sur toute la largeur de la case entre traverses (de rail à rail) en raison de la dimension réduite de ces dernières. La discussion sur le ballast se trouve au chapitre 6 et celle sur la couche de base au chapitre 7.1.

Cas normal :

Sur la couche de base, sur l'axe de la voie, au moyen d'un pic et d'une pelle – également avec une tarière à main pour les matériaux fins ou sableux – impératif jusqu'à au moins 60 cm sous l'arête supérieure de la traverse, ou jusqu'à 40 cm sous la couche de base

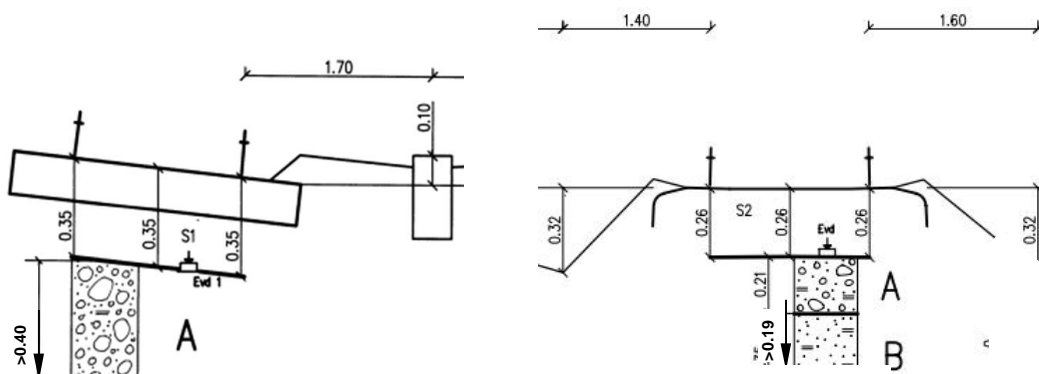


Fig. 2 et 3: Cas normaux incl. distances latérales, indication du type de traverse (à gauche: bois, à droite: acier), ouverture de la couche de base d'un rail à l'autre, 3 mesures de la distance verticale AS de traverse – couche de base, indication de l'aptitude au criblage (S1 resp. S2), mesure E_{vd} sur la couche de base, sondage jusqu'à 40 cm sous la couche de base – ce qui ne se voit pas sur la figure mais qui doit se trouver dans les descriptions du sondage : discussion sur le ballast (granulométrie, angulosité), aptitude au bourrage, discussion sur la couche de base (compacité, humidité) ; discussion sur l'infrastructure (genre de matériau, compacité, humidité)

Les couches rencontrées doivent être décrites et photographiées conformément au chapitre 7. Les informations importantes sur la déformabilité de la couche de base (cf. chapitre 7.2) doivent également être décrites tout comme le système d'évacuation des eaux (cf. chapitre 7.5). Un échantillon de matière polluante doit aussi éventuellement être prélevé (cf. chapitre 8). Normalement le sondage est ainsi terminé.

Cas particulier :

Pour les cas suivants, la procédure décrite diverge à partir de la couche de base :

- Haute intensité d'entretien due aux données de référence (graphique de la superstructure, feuille d'AV)
- Très mauvaise position/stabilité de la voie (l'erreur du nivellement longitudinal mesurée selon le diagramme du wagon de mesure aux environs des tolérances)
- Ripage latéral > 0,3 m
- Modification de la situation d'évacuation des eaux existante (p. ex. construction d'un quai, d'une rampe, ...)
- Contamination argileuse dans le lit de ballast
- Engorgement d'eau dans le lit de ballast

Dans le cas où un de ces points est rencontré lors de l'étude, la fouille de sondage doit être ouverte jusqu'à minimum 80 cm sous l'arête supérieure des traverses ou obligatoirement jusqu'à 40 cm sous la couche de base. La description des matériaux, l'estimation de la déformabilité et les informations sur le système d'évacuation des eaux doivent également être développées selon le chapitre 7.

De plus, dans la zone de banquette (à env. 1,5 m de distance des rails et par conséquent profil d'espace libre) un sondage au pénétromètre à rainure doit être effectué selon le chapitre 7.6. Si la fouille se termine dans du matériau à grains fins, un échantillon de sol doit être prélevé. La granulométrie ainsi que les propriétés de plasticité seront déterminées au laboratoire.

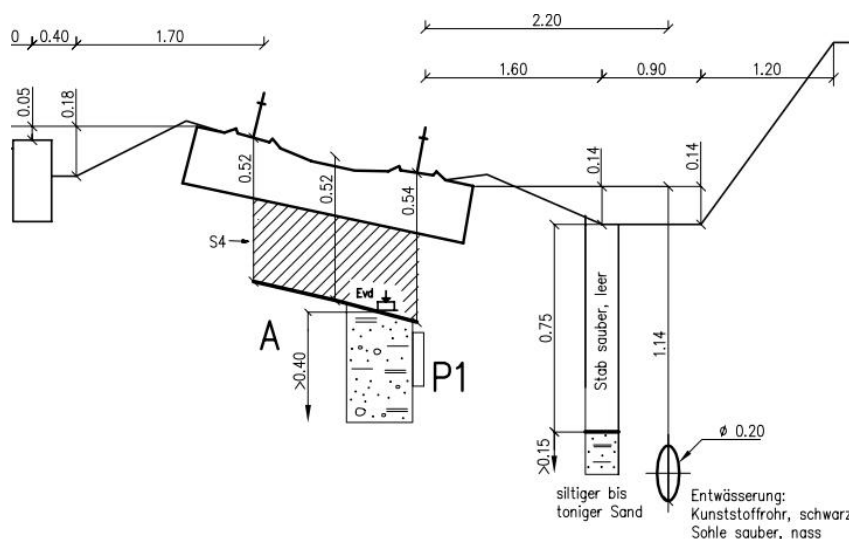


Fig. 4: Cas particulier (contamination du lit de ballast par les fines) incl. sondages supplémentaires au pénétromètre à rainures et échantillon de sol (P1) – ce qui ne se voit pas sur la figure mais qui doit se trouver dans les descriptions du sondage : discussion sur le ballast (granulométrie, angulosité), aptitude au bourrage ; discussion sur la couche de base (compacité, humidité) ; discussion sur l'infrastructure (genre de matériau, compacité, humidité) ainsi qu'éventuellement la détermination complémentaire de la consistance des particules fines.

Type	Contenu	Complément	Profondeur de fouille minimale
Cas normal	étude du lit de ballast chapitre 6 étude de la couche de base chapitre 7.1	-	60 cm à partir de l'arête supérieure des traverses, mais 40 cm à partir de la couche de base
Cas particulier	étude de la déformabilité sur la couche de base chapitre 7.2 appréciations du drainage chapitre 7.5	- sondage au pénétromètre à rainure chapitre 7.4 - sol à grains fins: prélèvement d'échantillon de sol et analyses de laboratoire granulométrie et limites de plasticité	80 cm à partir de l'arête supérieure des traverses, mais 40 cm à partir de la couche de base

Tab 1: aperçu des 2 types d'étude du lit de ballast avec leur contenu et profondeurs minimales de fouille

Infrastructure rigide :

Sur une infrastructure rigide, les sondages doivent être pratiqués entre l'axe de la voie et la bordure latérale (cf. annexe A.3). Le fait de connaître la dimension des espaces disponibles permet ultérieurement de choisir la machine de chantier convenant le mieux. L'ouverture de la fouille de sondage doit être effectuée dans des conditions extrêmes d'étroitesse (p. ex. aménagement asymétrique de la voie et de l'ouvrage). Veiller particulièrement à ne pas abîmer la couche de protection ou l'étanchéité de la dalle du pont. En clair, cela signifie qu'**aucun sondage** ne doit y être pratiqué au moyen du pénétromètre à rainure ou d'un autre outil de même nature.

Obstacles latéraux :

Dans les zones comprenant des obstacles latéraux (installation de quai, murs, bordures), noter également la distance latérale séparant le milieu du sondage de l'obstacle et la forme de la fondation. Vu l'absence de risque d'abîmer un joint à proximité de quais, la profondeur de leurs fondations peut aussi être déterminée par un sondage au pénétromètre à rainure.

Les obstacles situés près des voies peuvent limiter le choix des machines de chantier.

5.2 Résumé des étapes de travail lors de sondages dans le lit de ballast

- Commande / Données / Planification des sondages (cf. chap. 3 et 4).
- Photographie générale du lieu de sondage (cf. annexe C).
- Mesure du dévers ainsi que des hauteurs et des distances par rapport au canal de câbles, banquette, talus.
- Ouvrir une fouille de sondage de rail à rail (cf. chap. 5.1).
- Étude du lit de ballast (selon chapitre 6).
- Photographie de la section du lit de ballast, tout au plus de la zone bourrée et/ou de détails (contamination argileuse, p. ex.) (cf. annexe C)
- Étude de la couche de base (selon chapitre 7.1).
- Eventuellement détermination du module de déformation dynamique E_{vd} au moyen du déflectomètre à masse tombante sur la couche de base (selon chap. 7.2.1).
- Relevé de l'infrastructure et des matériaux en place jusqu'à 40 cm en dessous de la couche de base (év. jusqu'à 80 cm sous l'arête supérieure des traverses) avec leurs descriptions (composition des parties principales et secondaires, compacité, humidité), épaisseur des couches, contamination argileuse visible, év. échantillons destinés aux analyses du laboratoire de mécanique des sols.
- Photographies des matériaux (aspect visuel dans le trou du sondage et vue des déblais de voie) / autres détails (engorgement d'eau / contamination argileuse).
- Vérification de la valeur E_{vd} des matériaux enfouis à 40 cm de profondeur; ou évaluation de la valeur M_{E1} en fonction de la structure des couches si E_{vd} est impossible à mesurer év. inclure la détermination de la consistance au moyen de méthodes alternatives (cf. chap. 7.2.2).
- Ev. exécution des sondages au pénétromètre à rainure dans la banquette (cf. chap. 7.4).
- Relevé des canalisations d'évacuation des eaux existantes (puits, cf. chap. 7.5) ainsi que la codification de l'évacuation des eaux (sans dégât / retardé / écoulement / infiltration détériorés)
- Prélever au besoin un échantillon pour une analyse chimique (cf. chap. 8).
- Refermer les fouilles couche après couche (cf. chap. 5.1).
- Elaboration du rapport (cf. chap.9).

5.3 Outillage nécessaire

- Vêtements de protection individuelle
- Pelles propres (prélèvement pour les analyses chimiques)
- Pic à manche court
- Emporte-pièce, fourche et râteau à ballast, pioche, pelle (fourni par le support)
- Défectomètre à masse tombante LFG, batteries
- Pénétromètre de poche, scissomètre et /ou pénétromètre in situ (CBR)
- De quoi écrire
- Appareil photo
- Double-mètre
- Latte de mesure de 3 mètres avec niveau à bulle intégré (max. 3 m de long ; bois / plastique, pas de latte de mesure conductrice d'électricité)
- Suffisamment de récipients avec couvercle pour les échantillons de matières polluantes
- Emballages étanches et résistants (sacs en plastique) pour les échantillons de terrain
- Étiquettes et stylos indélébiles

6 Description du lit de ballast

L'étude du lit de ballast comprend les critères ci-dessous décrits plus en détail dans les chapitres suivants:

- Aptitude au criblage (avec provenance de la pollution, résistance mécanique et granulométrie des grains de ballast);

- Aptitude au bourrage;
- Épaisseur du lit de ballast.

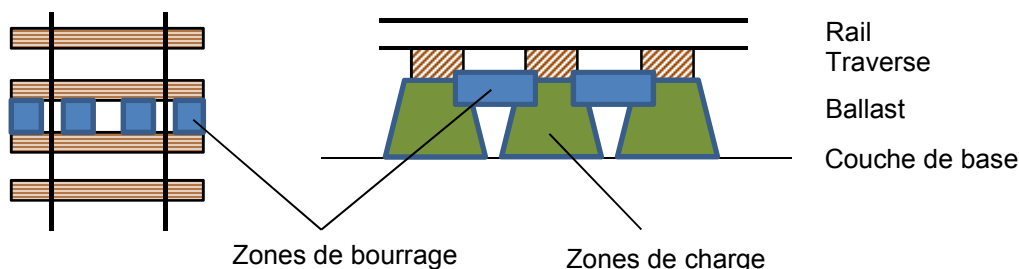


Fig. 5: Plan (à gauche) et élévation (à droite) de la superstructure avec représentation des zones d'influence des charges et du bourrage du lit de ballast.

6.1 Aptitude au criblage du ballast

L'aptitude du lit de ballast à être criblé est classée selon les catégories suivantes (photos cf. annexe D):

- S1: ballast légèrement contaminé par l'abrasion des grains et des déchets d'exploitation; en ordre pour le criblage et le bourrage
- S1-2: ballast moyennement contaminé par l'abrasion des grains et des déchets d'exploitation; en ordre pour le criblage et le bourrage
- S2: ballast moyennement contaminé par l'abrasion des grains et des déchets d'exploitation; possibilité de criblage (et de bourrage)
- S3: ballast fortement contaminé par l'abrasion des grains et les déchets d'exploitation (contient éventuellement des particules fines dispersées latéralement); inapte au criblage et au bourrage
- S4: ballast contaminé par des particules fines de l'infrastructure / terrain sous-jacent; inapte au criblage et au bourrage

Pour déterminer la capacité à être criblé (gén. par tamisage à sec mécanique), prendre en compte une zone de 2,2 m de part et d'autre de l'axe de la voie. Dans la zone de bourrage, les grains de ballast sont en général fortement fracturés. La partie supérieure de la couche de base présente un taux élevé de concassé de ballast, produits d'abrasion des grains de ballast et de déchets d'exploitation.

Le ballast peut encore être criblé lorsque les grains ne s'agglomèrent pas. Le ballast ne peut plus être criblé lorsqu'il se forme un agglomérat avec des particules fines cohésives impossibles à séparer par criblage mécanique. Cet état peut être facilement vérifié sur place à l'aide d'un pic: le ballast peut être considéré comme impossible à nettoyer si les blocs d'agglomérat ne se détachent pas sous l'action du pic.

Si les particules fines cohésives proviennent de l'abrasion du ballast ou d'une émission latérale, il s'agit de catégorie S3. Si les particules fines cohésives remontent de l'infrastructure ou du terrain naturel, il s'agit de catégorie S4.

Les conditions favorables au criblage du ballast sont la répartition relativement normale de la granulométrie; le taux de déchet augmente en fonction de la proportion de grains sur- ou sous-dimensionnés rencontrée (catégories S1 à S2). Sur place, le criblage à la fourche à ballast permet de déterminer si la part de grains de dimension normale est suffisante: les grains d'un diamètre < 22 mm passent au travers.

L'aptitude au criblage d'un lit de ballast dépend également de sa résistance mécanique (valeur LA), de la forme et de l'angulosité des grains.

La catégorie de criblage et la description des grains de ballast permettent d'entreprendre les mesures nécessaires pour le lit de ballast. En cas de contamination argileuse, il faut s'attendre à la prise de mesures supplémentaires sur l'infrastructure ou le système de drainage. Les informations relatives au lit de ballast doivent toujours être complétées de celles concernant la couche de base, l'infrastructure, la banquette et le système de drainage.

6.2 Aptitude au bourrage

Une bonne stabilité de la voie exige un enfoncement dynamique au passage des trains. Le lit de ballast doit permettre les mouvements verticaux, sans toutefois perdre le contact avec les traverses.

Les grains de ballast se positionnent entre eux par rapport à leurs deux fractions principales (31,5 – 40 mm et 40 – 50mm), leurs surfaces rugueuses, leurs formes et leurs arêtes (tranchantes) de façon à ce que leurs points de contact finaux se résume à quelques points seulement (contacts de grain à grain). Chaque grain de ballast est contraint par les différents points de contact avec les grains environnants. Au passage d'un train, les grains se frottent légèrement les uns avec les autres sous la traverse et transfèrent ainsi les vecteurs de charge latéralement et vers le bas. Les espaces vides entre les grains servent à la fois au drainage et à l'égalisation des températures. Avec le temps, les frottements et les vibrations réduisent petit à petit la résistance au glissement des grains entre eux, ce qui produit une égalisation et avec elle le tassement du ballast. Les grains et les interstices subissent en outre l'influence des différentes conditions météorologiques.

L'égalisation resp. la compacité haute qui en résulte réduit l'élasticité désirée du lit de ballast: les volumes d'abord largement perméables entre les grains s'amenuisent progressivement et ces derniers ne se touchent plus uniquement par des points, mais par des surfaces toujours plus larges. Cet état réduit négativement la mobilité verticale recherchée des grains au passage des trains. De par leur solide fixation sous les rails, les traverses sont maintenues en hauteur et viennent à perdre le contact avec le ballast compacté (on parle alors de traverses danseuses). Au passage des trains, ces traverses sont pressées contre le ballast, ce qui provoque des contraintes supplémentaires.

Pour éviter le compactage progressif du ballast, il est nécessaire d'intervenir à temps au moyen d'actions mécaniques (le bourrage). Ces actions doivent servir à réordonner les grains de ballast entre eux dans les zones de charge. On profite de cette occasion pour réinsérer de nouveaux grains dans la zone de bourrage par le haut et les côtés. Cet apport forcé réordonne et réoriente les grains déjà contraints dans la zone de charge située sous les traverses et redonne au ballast une certaine élasticité.

Pour que le bourrage soit efficace, la zone de bourrage doit contenir une quantité suffisante de gros grains, rugueux et/ou anguleux pour créer suffisamment de nouveaux espaces vides. Si les grains sont trop fortement fracturés dans la zone de charge, il n'est plus possible de réaliser de bourrage efficace sans introduire des mesures supplémentaires telles que le criblage du ballast (cf. photos annexe D).

Les indications concernant l'aptitude au bourrage doivent être transmises à chaque sondage et notées dans le profil en travers. Conjointement à l'évaluation de l'état de l'infrastructure, elles fourniront au responsable des installations ou au chef de projet (v. a. la fixation des traverses et des rails) la possibilité de programmer efficacement le moment d'entreprendre le renouvellement.

6.3 Épaisseur du lit de ballast

Les exigences minimales en matière d'épaisseur du lit de ballast sont définies au chapitre 6.1 du R RTE 21110 «Infrastructure et ballast» en fonction des groupes de charge des voies (cf. chapitre 3.6 du R RTE 21110):

Désignation	Groupes de charge des voies Maintenance (E)			
	E1	E2	E3	E4
Charge future [TBC/j]	> 30 000		15 000 – 30 000	5000 – 15 000
Vitesse future [km/h]	> 160	-	ou ≥ 80	-
Épaisseur minimale du lit de ballast [cm]	35	30	30	30

Tab 2: Exigences minimales en matière d'épaisseur du lit de ballast pour la pleine voie et en fonction des groupes de charge des voies.

L'épaisseur du lit de ballast est définie comme la distance la plus courte entre l'arête inférieure de la traverse et la couche de base mesurée sous le rail déterminant. Le rail déterminant est celui qui présente la distance la moins élevée au-dessus de la couche de base. Pour les sondages, il est indiqué de consigner la distance entre l'arête supérieure de la traverse et la couche de base.

Si le ballast est prélevé d'un rail à l'autre dans la case entre traverses, l'épaisseur du lit de ballast (soit la distance prise verticalement entre l'arête supérieure de la traverse et la couche de base) doit toujours être mesurée en trois endroits: contre les deux rails et sur l'axe de la voie.

Au-dessus d'une infrastructure rigide, l'épaisseur totale du lit de ballast comprend l'épaisseur du lit de ballast proprement dit et celle de la couche de transition (si existante). Dans le profil en travers, les épaisseurs de couches doivent être mentionnées séparément.

Si les conditions topographiques sont claires (dalle en béton évaluée visuellement à au moins 70 cm de profondeur à partir de l'arête supérieure de la traverse), il est possible de renoncer à effectuer un sondage si l'on veut uniquement déterminer l'épaisseur du lit de ballast.

7 Description de l'infrastructure et du drainage

En parallèle à l'étude du lit de ballast, il est également nécessaire d'examiner l'infrastructure et le système de drainage. Pour l'infrastructure, outre l'épaisseur, le genre de matériau (en particulier sa teneur en particules fines), la compacité et le taux d'humidité, cela concerne les propriétés résultant de la déformabilité de la couche de base, le maintien de la fonction filtrante et la sensibilité au gel. Concernant le drainage, il faut déterminer s'il entraîne ou non des conséquences négatives.

7.1 Description de la couche de base

Si le ballast est prélevé d'un rail à l'autre dans la case entre traverses, il faut en profiter pour analyser l'état de la couche de base. Décrire si la couche de base est clairement reconnaissable, si elle est souillée ou déformée et si des grains de ballast y sont enfoncés. Les cuvettes ou les enfoncements doivent être consignés sur le rapport.

Ces descriptions renseignent si le type de traverses, le lit de ballast, l'infrastructure et le système de drainage correspondent pleinement ou non à l'utilisation actuelle de la voie.

Indiquer également la compacité de la couche de base. En général, elle est moyennement tassée à l'aide de machines à compacter de puissance réduite, puis consolidée par le passage des trains. Si elle peut être prélevée sans peine, cela montre qu'elle est déposée de façon plutôt lâche. Si, au contraire, son prélèvement demande beaucoup d'effort à l'aide d'un pic ou d'un emporte-pièce, elle a été déposée de façon compacte à très compacte.

7.2 Description de la déformabilité

Pour des raisons de temps et de procédés de travail, le module de déformation M_{E1} n'est le plus souvent pas mesuré au moment de la première charge à l'occasion de travaux de maintenance des installations de voies. D'autres procédés sont utilisés pour démontrer la déformabilité de la couche de base et de la plate-forme.

7.2.1 Indice de déformabilité à l'aide du déflectomètre à masse tombante (LFG)

Normalement la déformabilité est mesurée sur la couche de base, dans l'axe de la voie, au moyen du LFG. Pour effectuer des mesures au moyen du LFG, il est nécessaire de dégager toutes les pierres de la surface à mesurer de sorte que la plaque de base soit parfaitement stable. Le chapitre 4.2.1.1 du R RTE 21110 « Infrastructure et ballast » renvoie à la littérature technique concernée.

L'utilisation du LFG et des valeurs E_{vd} qu'il fournit comme base de mesure de l'infrastructure, part du principe que la couche sous-jacente, jusqu'à 40 cm en-dessous du niveau de la mesure, soit constituée de gravier ou de sable, c'est-à-dire de matériaux à gros grains et en aucun cas de matériaux à grains fins, et qu'elle ne soit ni gelée ni détrempée.

Pour vérifier les valeurs E_{vd} mesurées au moyen du LFG, la fouille de sondage doit être creusée jusqu'à au moins 40 cm en-dessous de la couche de base. Les matériaux rencontrés au cours de ce sondage doivent être soigneusement identifiés par un spécialiste expérimenté qui décrira leur épaisseur, compacité (lâche, moyennement compacte, compacte, très compacte) et leur teneur en eau (sol humide, fortement humide, mouillé).

Si les conditions décrites pour l'estimation de la déformabilité au moyen de la valeur mesurée E_{vd} sont respectées, la table suivante permet, pour une plage de valeurs $E_{vd} = 10 \dots 70 \text{ MN/m}^2$, d'extraire la valeur correspondante M_{E1} :

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

Tab 3: Valeurs M_{E1} équivalentes aux valeurs E_{vd} mesurées au moyen du LFG

Des résultats fournissant des valeurs $E_{vd} > 70$ MN/m² dépourvues de valeurs M_{E1} équivalentes ont un caractère purement indicatif. On peut en déduire que le matériau à gros grains situé jusqu'à minimum 40 cm en-dessous de la surface de mesure, est suffisant et qu'il n'est ni gelé, ni détrempé.

Les valeurs E_{vd} mesurées à l'aide du LFG doivent être vérifiées en se fondant sur la structure des couches observées (cf. chapitre 7.2.2). Si les conditions d'utilisation mentionnées dans ce chapitre pour l'utilisation du LFG afin de déterminer la valeur de déformabilité, ne sont pas remplies, seule la valeur estimée d'après la structure des couches observées dans la fouille compte.

Dans les cas suivants, la mesure de la déformabilité par LFG n'est pas possible :

- sols avec pierres
- sols mouillés
- en cas de précipitations

7.2.2 Indication de la déformabilité selon la structure des couches

La connaissance des couches sous-jacentes permet d'estimer la déformabilité sur la couche de base. L'étude des couches sert de contrôle de la valeur mesurée à l'aide du LFG (cf. chapitre 7.2.1) ou permet une évaluation de l'ordre de grandeur de la déformabilité quand il n'est pas possible de prendre une mesure avec le LFG. En particulier dans les cas de longues durées d'utilisation, de faibles intensités d'entretien ou de positions de voie discrètes, il ne devrait pas y avoir de problèmes concernant une déformabilité insuffisante.

Pour estimer la valeur de déformabilité, il faut tenir compte du type de matériau, de l'épaisseur, la compacité et la teneur en eau des différentes couches jusqu'à une profondeur de 40 cm en-dessous de la couche de base. Il est essentiel pour cela de disposer d'une description détaillée des couches et des matériaux.

L'illustration ci-après permet une estimation du module de déformation pour les couches d'une épaisseur de 30 cm.

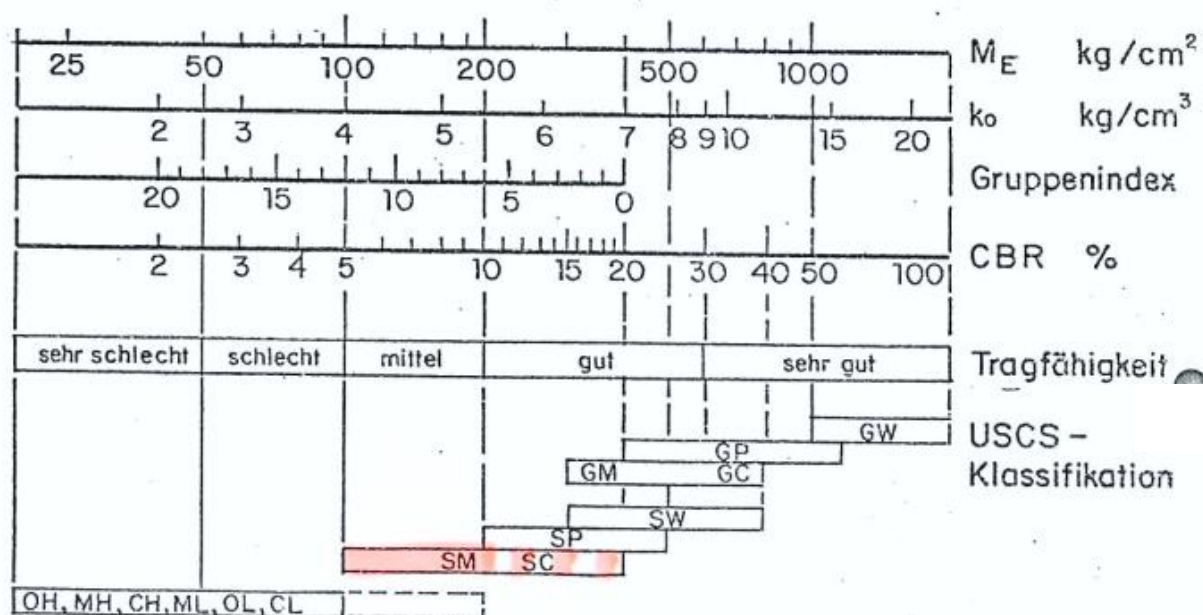


Fig. 6: Rapport approximatif entre la déformabilité et le type de sol selon la classification USCS (source: ancienne norme VSS).

Si le type de matériaux est connu avec certitude (tiré au besoin d'essais de laboratoires), il est alors possible d'estimer la déformabilité en dépendance de la compacité et du taux d'humidité. Il faut tenir compte du fait que, suivant la nature du terrain, les essais de plaque statiques (base de détermination du module M_E) renvoient une image d'une profondeur de 50 à 80 cm. Ce qui signifie que la zone ouverte n'est pas forcément suffisante pour estimer la valeur M_{E1} . Cette procédure simplifiée devrait toutefois s'avérer suffisante pour les sondages du lit de ballast.

Pour les sols à grains fins, la consistance sera mesurée séparément par un simple test de résistance à la compression (pénétromètre de poche), de scissomètre et/ou de pénétromètre in situ (CBR). La déformabilité peut également être estimée à partir de ces tests.

7.3 Indication de la stabilité de filtre et de la résistance au gel

L'estimation de la stabilité de filtre par rapport au système global actuel (solicitation dynamique, matériaux de l'infrastructure et du terrain naturel, conditions de drainage) exige une grande expérience – particulièrement en prévision d'un changement de composants (le changement du type de traverses, par exemple).

La perception de contamination argileuse existante ou débutante dans le lit de ballast et/ou l'infrastructure montre une stabilité de filtre insuffisante ou labile du système global actuel.

On déduira principalement que les voies et les aiguilles touchées par une stabilité de filtre insuffisante ou labile ont atteint la limite de leur durée d'utilisation et/ou de leur période de maintenance et doivent faire l'objet d'une étude géotechnique.

En cas de contamination argileuse sur des voies anciennes avec des fréquences de maintenance et de charge réduites, il n'est pas forcément nécessaire de réaliser un assainissement de l'infrastructure – il suffira généralement de remplacer le ballast existant et d'améliorer le drainage pour atteindre une durée d'utilisation équivalente à celle atteinte jusqu'ici. Pour cette estimation, les indications fournies par l'étude du lit de ballast en relation avec les matériaux de l'infrastructure, du terrain naturel et les conditions de drainage suffisent.

Il est de même peu important de connaître l'indice de résistance au gel pour l'étude du lit de ballast, car les voies et les aiguilles confrontées à des problèmes de gel sont généralement soumises à une étude géotechnique.

7.4 Sondages au pénétromètre à rainure

Les sondages au pénétromètre à rainure doivent être effectués dans la zone de la banquette (à env. 1,5 m du rail) **dans les cas particuliers** de l'étude du lit de ballast. Cet essai simple et rapide permet de déterminer si, et dans l'affirmative à environ quelle profondeur, des particules fines se trouvent dans la zone de la banquette.

L'essai comporte un risque d'erreur car le contenu du tube fendu pourrait être déplacé ou se vider au contact de pierres se trouvant dans le tube lui-même ou dans les parois du sondage. De même, le sable propre et le sable fin tombent souvent hors du tube lorsque ce dernier est tiré dehors. Les profondeurs mesurées de chaque couche doivent donc être considérées avec prudence.

Les sondages au pénétromètre à rainure ne doivent être considérés que comme sondages additionnel aux fouilles. Les sondages au pénétromètre à rainure ne permettent pas d'obtenir une image précise des matériaux présents. L'étude des matériaux doit toujours être réalisée lors des fouilles de sondage dans la case entre traverses voisines.

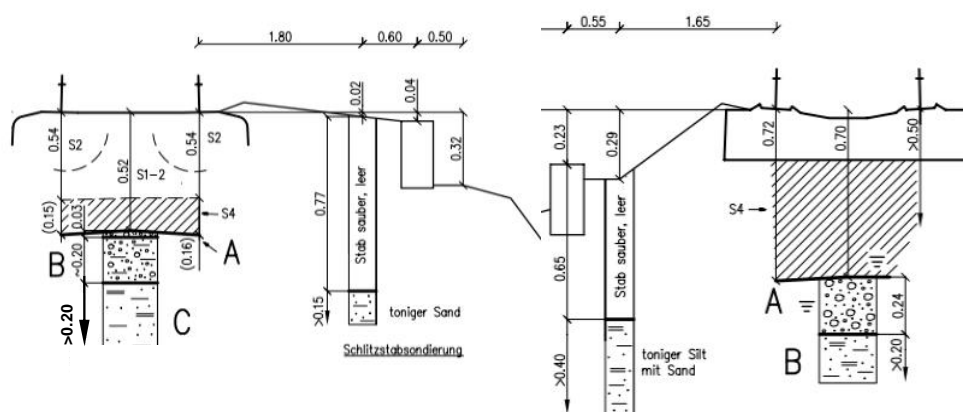


Fig. 7 et 8: Cas particuliers incl. Sondage au pénétromètre à rainure ; à gauche: couche de base et plate-forme semblent être drainées d'après le sondage au pénétromètre à rainure ; stabilité de filtre est le problème primaire de la contamination par les fines ; à droite : évacuation des eaux de la couche de base ne semble pas possible et engendre un engorgement d'eau dans le lit de ballast / infrastructure

7.5 Description des conditions de drainage

Le relevé en trois points de l'épaisseur du lit de ballast accompagné de la description des enfoncements et des cuvettes détectés dans la couche de base permet de déterminer la pente transversale de la couche de base. À l'aide des données de compacité, de pente transversale et la description des matériaux constituant l'infrastructure, il est possible de savoir si le drainage s'effectue par écoulement sur la couche de base ou par infiltration dans l'infrastructure.

Il faut en outre tenir compte de la profondeur et de la distance à laquelle se situe la canalisation d'évacuation des eaux. De plus, les regards de contrôle doivent être ouverts et les mensurations correspondantes doivent être mesurées à partir du rail le plus proche. Noter également le diamètre des conduites et si l'on constate la présence d'eau stagnante ou de particules fines.

Dans les cas particuliers de l'étude du lit de ballast, des sondages supplémentaires au pénétromètre à rainure permettent de déterminer si l'eau quitte la zone de charge de la voie par écoulement latéral au niveau de la couche de base ou de la plate-forme. L'évacuation des eaux est retardée en présence de matériaux à grains fins ou d'obstacles surélevés.

L'examen complet des données recueillies permet d'évaluer la situation du système de drainage (dans les cas normaux et particuliers):

- Infiltration / écoulement sans dégât;
- infiltration / écoulement retardé resp.

- infiltration / écoulement accompagné de dégâts tels que contamination argileuse et/ou engorgement d'eau.

8 Prélèvement d'échantillons (pour analyse chimique de matières polluantes)

Le prélèvement d'échantillons destinés à l'analyse chimique des polluants ou l'établissement d'une certification d'élimination doit être réalisé conformément à la directive sur les déblais de voie. Le chapitre suivant résume les points principaux utiles aux sondages dans le lit de ballast.

8.1 Outils nécessaires

Le prélèvement nécessite l'utilisation d'une pelle à gravier, un pic court et/ou une barre métallique ainsi qu'un récipient étanche et inscriptible (bidon avec couvercle verrouillable ou sac plastique refermable et très résistant) d'une capacité de 12 à 15 litres environ. L'échantillon prélevé pèse généralement plus de 20 kg.

8.2 Lieu de prélèvement

Du moment qu'une ouverture pour sondage est pratiquée dans la case centrale entre traverses (cf. chapitre 4.1), l'échantillon sera prélevé à cet endroit. Il est toutefois préférable de prélever le plus près possible d'un rail plutôt que dans l'axe de la voie (« exception » dans la directive sur les déblais de voie).

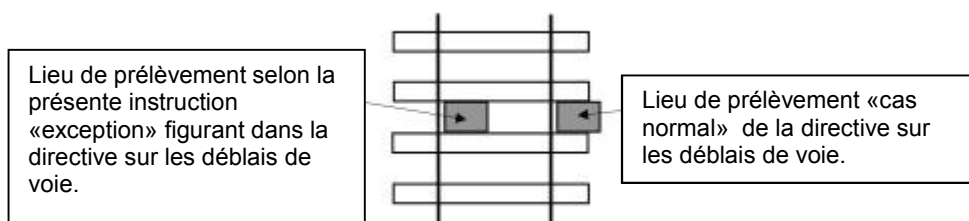


Fig. 9: Lieu de prélèvement pour l'analyse chimique des polluants

Dans les appareils de voie, les lieux de prélèvement sont situés dans la zone des lames, le plus près possible des points de graissage, et près du talon.

8.3 Procédure de prélèvement d'échantillons

8.3.1 Prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie sans assainissement de l'infrastructure

Si une réfection de la voie est prévue sans assainissement de l'infrastructure, prélever dans la case entre traverses trois pelées d'à peu près la même quantité de ballast dans trois parties de dimension semblable (1, 2 et 3). Le poids total s'élève à 20 kg au moins.

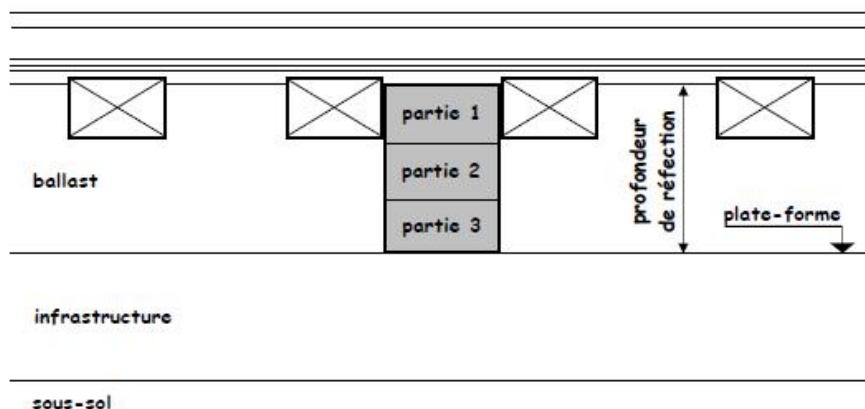


Fig. 10: Schéma d'un prélèvement d'échantillons en cas de réfection de la voie sans assainissement de l'infrastructure

8.3.2 Prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie avec assainissement de l'infrastructure et séparation des déblais de voies

Si le renouvellement du ballast et de l'infrastructure prévoit une séparation des déblais, il faut en tenir compte dès le prélèvement d'échantillons pour analyse et évaluation. De la case entre traverses, on extraira un échantillon de ballast et un échantillon de l'infrastructure:

- Ballast: l'échantillon doit être réparti en trois parties de même poids et de même dimension (1, 2 et 3).
- Infrastructure: l'échantillon doit être réparti en trois parties de même poids et de même dimension (4, 5 et 6) prélevés entre la plate-forme et la couche de base.

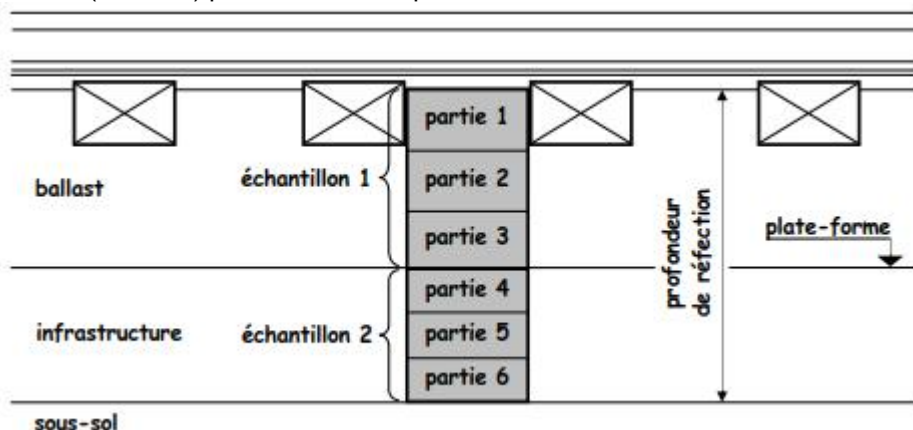


Fig. 11: Schéma d'un prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie avec assainissement de l'infrastructure et séparation des déblais de voies

8.3.3 Prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie avec assainissement de l'infrastructure et mélange des déblais de voies

Si le renouvellement du ballast et de l'infrastructure prévoit le mélange des déblais, l'échantillon sera prélevé dans la case entre traverses comme indiqué sur l'illustration 12.

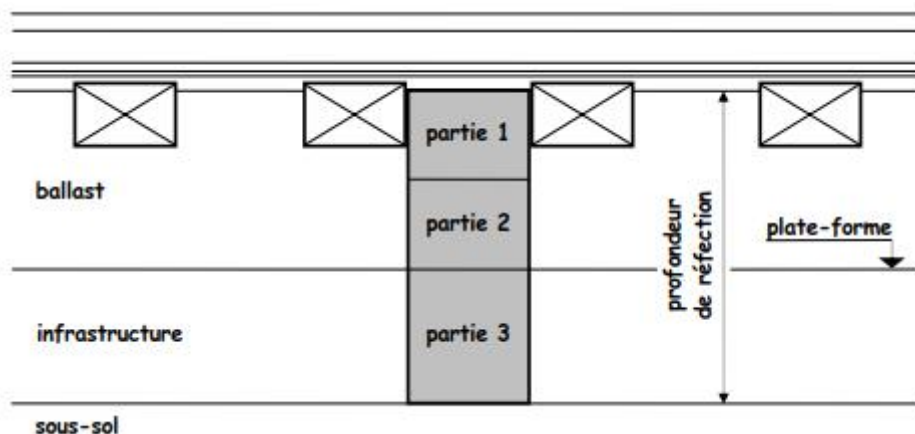


Fig. 12: Schéma d'un prélèvement d'échantillons pour une réfection de la voie avec assainissement de l'infrastructure et mélange des déblais de voies

Le ballast doit être réparti en deux parties de même dimension, la troisième partie sera un échantillon de l'infrastructure. Le poids total des trois échantillons s'élève à 20 kg au moins.

8.4 Analyse chimique

L'analyse chimique comprend au minimum celle des HAP, des BaP et des hydrocarbures aliphatiques HC >C₁₀. En cas de soupçon de pollution par d'autres substances dangereuses pour l'environnement (résultat de l'examen organoleptique), il faut analyser la teneur de ces substances polluantes en accord avec les spécialistes compétents.

9 Rédaction du rapport des études du lit de ballast

9.1 Contenu du rapport des études du lit de ballast

Le rapport des études du lit de ballast doit livrer au moins les données suivantes:

- **Rapport**
- **Annexes** composées de:
 - Situation avec position et indication de la fouille de sondage
 - **Compte rendu du terrain** (descriptions des fouilles de sondage)
 - Résultats de laboratoire des analyses de mécanique des sols
 - Procès-verbal de prélèvement des échantillons et résultats de laboratoire des analyses chimiques
 - Photos avec position du sondage, aperçu du lit de ballast sous les traverses, au mieux dans la zone de bourrage, aperçu de l'infrastructure/terrain naturel, vue de détails de l'infrastructure et/ou terrain naturel dans le trou de sondage et la vue des déblais de voie
 - Graphique de la superstructure

Le **rapport** doit contenir au minimum les données suivantes et doit servir à un aperçu des données des objets étudiées (max. 2 – 3 pages A4):

- Page de titre indiquant l'objet, ligne, kilométrage, maître d'ouvrage, date du rapport et auteur du rapport
- Description de la commande
- Données des voies resp. des appareils de voies (année du dernier renouvellement ; année prévue du prochain renouvellement : superstructure existante (type de traverses, profil de

rail) ; superstructure planifiée ; vitesse maximale jusqu'à présent ; charge jusqu'à présent resp. groupe de charge des voies ; intensité d'entretien jusqu'à présent)

- Dans la mesure où ces données sont connues : charge future resp. groupe de charge des voies et/ou vitesse maximale
- Description des valeurs d'analyses des matières polluantes

Le point central est le **compte rendu du terrain**. Ce dernier doit donc être de bonne qualité. (cf. exemple annexe B). La largeur de la fouille doit être représentée conformément à la réalité (rail – rail, étude avec une pelle; étude avec une tarière à main, pénétromètre à rainure dans la banquette). Pour chaque sondage il faut donner :

- Numéro de la voie resp. de l'AV, kilométrage et ligne CFF
- Date des sondages et topographie;
- Type de traverses et année de pose;
- Épaisseur du lit de ballast (à chaque fois 3 mesures : à côté de chaque rail et sur l'axe de la voie)
- Épaisseur du lit de ballast ou épaisseur totale au-dessus de l'infrastructure rigide;
- Aptitude au criblage du ballast (S1, S1-2, S2, S3 ou S4):
Le ballast peut-il être criblé ou doit-il être remplacé?
Le ballast est-il pollué par des particules fines (émission latérale/verticale, part du concassé de ballast resp. produits d'abrasion des grains) resp. de particules fines remontées du dessous?
- Description du lit de ballast: Grains trop petits ou trop gros? Angulosité et résistance mécanique des grains
- Aptitude du ballast au bourrage:
Le ballast situé dans la zone de bourrage peut-il encore être (efficacement) bourré?
- Indication de la nature de la surface de la couche de base (régulière ou déformée ? pente transversale (<5%, ~5% ou >5%), compacité (lâche, moyennement compacte, compacte, très compacte ou dure))
- Indice de déformabilité M_{E1} de la couche de base (déduit par la valeur mesurée avec le LFG ou estimée à partir de la structure des couches basée sur une profondeur de prélèvement suffisante);
- Spécification de l'épaisseur de l'ensemble infrastructure et terrain naturel avec description de la teneur en particules fines, de la compacité (lâche, moyennement compacte, compacte, très compacte ou dure) et du taux d'humidité (humide, fortement humide, mouillée, trempée) des couches;
- Emplacement et résultat des sondages au pénétromètre à rainure avec indication de la hauteur des matériaux fins incorporés à la banquette (perméabilité de la banquette; possibilité de drainage de la couche de base);
- Spécification des drainages/systèmes d'évacuation des eaux existants; avec indication, non seulement du type de drainage (matériau; rigole, conduite, fossé, etc.) et de l'état (propre, sec, peu d'eau en écoulement, de l'eau stagnante, contaminé par des fines ou semblable), mais aussi de la profondeur et la hauteur sous l'arête supérieure du rail le plus proche;
- Données concernant le genre de drainage: intact/reporté/écoulement perturbé, resp. infiltration
- Spécification des «obstacles» latéraux, p. ex. bordures de quais ou autres bordures, roche située près du lit de ballast, etc. (espace disponible pour les machines de chantiers ferroviaires).

9.2 Archivage des données

Un résumé des points essentiels pour chaque objet selon chap. 9.1 doit être déposés dans la OE-PDB resp. MPM-voie ferrée. Le rapport de l'étude du lit de ballast doit être livré à AT-FW-TAFB-UGT pour l'examen des mesures de renouvellement lors de la discussion technique. TAFB-UGT déposera ceux-ci dans l'archive centrale des rapports géotechniques.

10 Liste des modifications

Version	Valable dès le	Chapitre	Modification
1-0	01.01.2018		Première édition (remplace I-50016 études du lit de ballast)

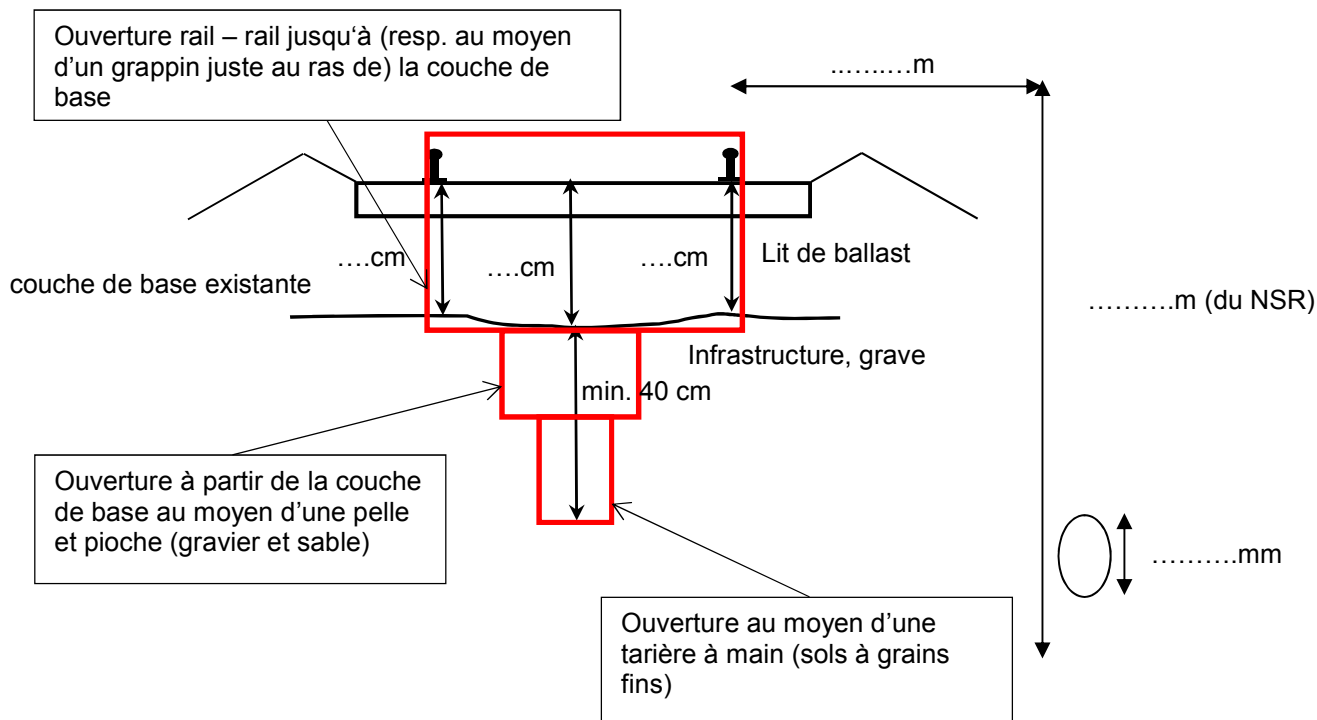
Annexe A

A.1 Procédure lors de l'ouverture incl. représentation – Cas normal

Ouverture de la fouille de sondage au moyen d'un râteau à ballast, grappin, pelle et/ou fourche à ballast d'un rail à l'autre jusqu'à la couche de base.

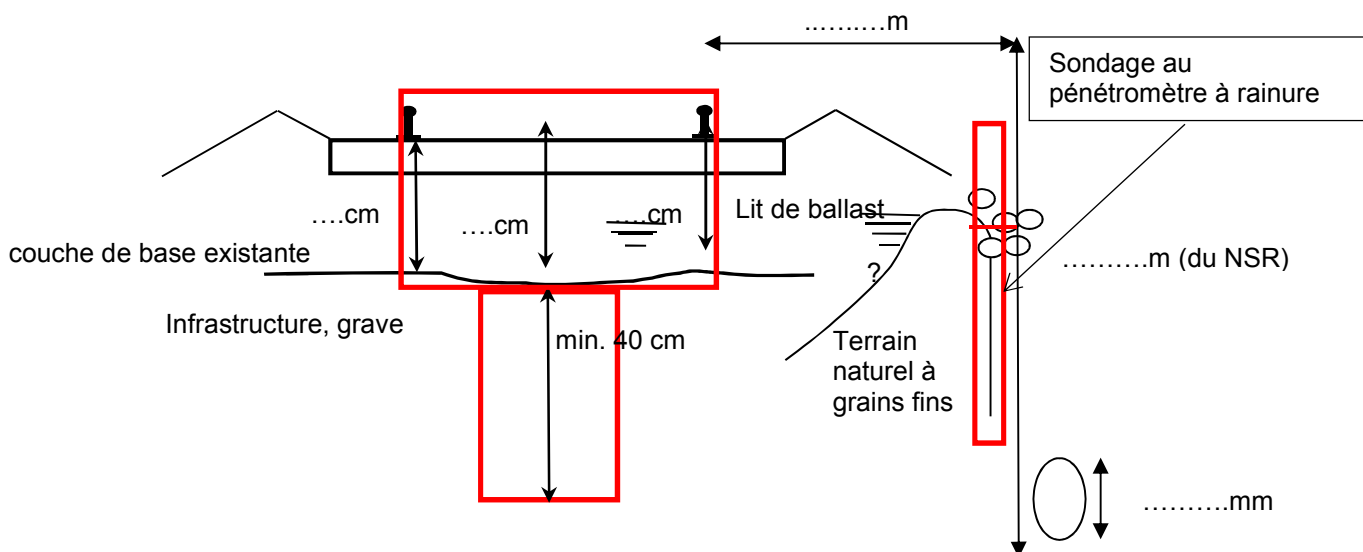
À parti de la couche de base au moyen d'une pelle et pioche resp. avec une tarière à main.

Relevé des conduites d'évacuation des eaux en ouvrant le puit de contrôle.

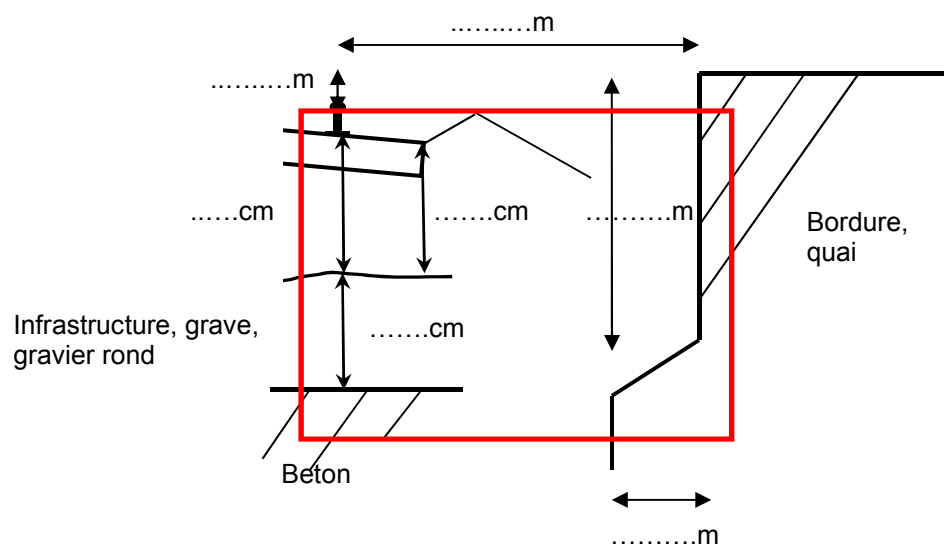


A.2 Procédure lors de l'ouverture incl. représentation – Cas particulier

Ouverture de la fouille de sondage analogue au cas normal. En plus, sondage au pénétromètre à rainure à env. 1,5 m de distance du rail situé le plus près.



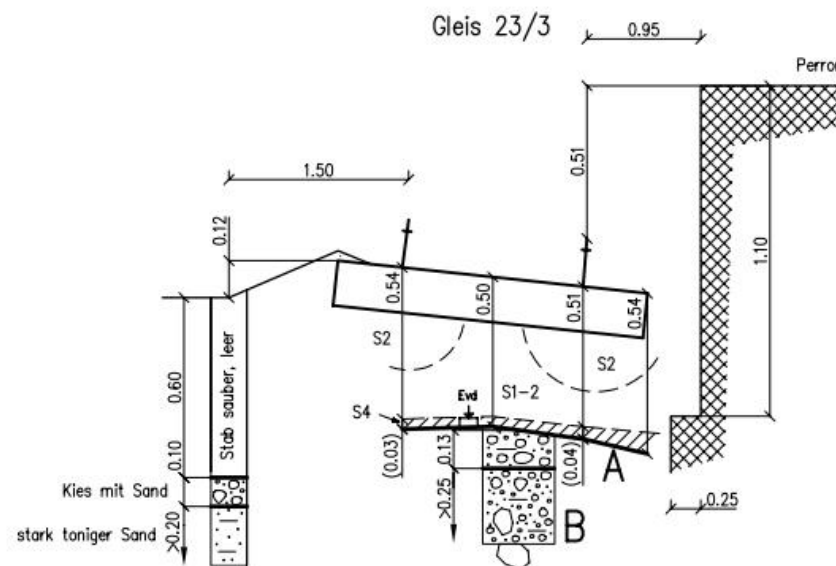
A.3 Procédure lors de l'ouverture incl. représentation – infrastructure rigide



Technical drawing of a roof cross-section showing structural details and dimensions. The drawing includes a roof profile with a peak and a slope. Key dimensions and labels are as follows:

- Horizontal dimensions (top):** 1.00, 1.10, 1.40, 0.80.
- Horizontal dimension (middle):** 1.00.
- Vertical dimensions (left side):** 0.02, 0.11, 0.16, 0.09, >0.45.
- Vertical dimensions (right side):** 0.17, 0.19.
- Labels:**
 - S4:** Shaded rectangular area representing insulation.
 - P1:** Label for a structural element, possibly a purlin or support.
 - Vlies:** Label for a layer, likely a vapor barrier or fleece.
 - sauberer Rundkies:** Label for clean rounded gravel.
 - B:** Label for a structural element, possibly a beam or support.
 - A:** Label for a structural element, possibly a purlin or support.
- Other dimensions:** 0.34, 0.33, 0.06, >0.35.

Position de voie instable entre km 98.570 – 98.700, aux environs de la fouille se trouve une zone avec des remontées du matériau fin. Localement l'eau écoule latéralement dans le corps de la voie ferrée



La fondation du quai s'avance dans le corps de la voie

Annexe C: Documentation de photos

Exemples de photos – les photos signées avec „ev.“ sont à faire aux conditions respectives



Fig. 1 et 2: Situation: Où se trouve le sondage; comment est la topographie (visible: hauteur du talus, distances, état de la banquette)



Fig. 3 - 5: Ev. détails du ballast: particularités comme les endroits blancs // „Schotterfliessen“ (gauche), zone de bourrage (milieu) et part importante de grains ronds (droite)



Fig. 6: Ev. détails du ballast dans le tas de déblais de voie: part importante de grains ronds



Fig. 7 - 9: Profil à travers le lit de ballast; double-mètre sur la couche de base; aspect forme de grains, aptitude au criblage (exemples donnés); aspect de l'épaisseur du lit de ballast; contamination basale (gauche: la zone inférieure est vraisemblablement composée des résidus du dernier renouvellement des voies (horizon de criblage))



Fig. 10 et 11: Profil à travers l'infrastructure (jusqu'au terrain naturel); selon le type de matériau avec une pelle, un emporte-pièce et une pioche (graveleux, pierreux : gauche) ou avec une tarière à main (sableux, grains fins : droite)



Fig. 12: Structure / propriété / qualité des matériaux à l'aide d'une photo des déblais de voies



Fig. 13: Structure / propriété / qualité des matériaux à l'aide d'une photo des déblais de voies (tarière à mains; ici la consistance décroissante des particules fines)



Fig. 14: Vue du puit de contrôle (ici emboué)



Fig. 16: Ev. détail: fixation de la ligne de contact sur un passage supérieur (indication de la possibilité de rehaussement)



Fig. 15: Ev. détail: caniveau à câbles qui glisse / support de banquettes qui glisse

Annexe D : Documentation de photos Aptitude au criblage du lit de ballast (Focus examen de l'axe de la voie)

Description détaillée de l'état – **en gras** description nécessaire de l'étude dans le lit de ballast concernant la possibilité de criblage



Fig. 1: Catégorie de criblage **S1 (peu de déchets d'exploitation et de concassé de ballast)**;
De plus: bonne granularité, arêtes vives; vers le bas les grains sont orientés latéralement



Fig. 3: Catégorie de criblage **S1-2 (peu à moyennement de déchets d'exploitation et concassés de ballast)**;
De plus: bonne granularité, arêtes vives ; vers le bas plus de concassé et de déchets visibles (lavés et tombés vers le bas)



Fig. 2: Catégorie de criblage **S2 (moyennement de déchets d'exploitation)**; vides visibles, parfois remplis par des particules fines non cohésives: Test sur le terrain avec la fourche à ballast produit des grains isolés.
De plus: granularité suffisante, grains parfois recouverts de particules fines, arêtes vives à arrondies



Fig. 4: Catégorie de criblage **S2 (moyennement à beaucoup de déchets d'exploitation et moyennement de concassés de ballast)**; surtout plantes visibles au-dessus
De plus: granularité suffisante, quelques grains ronds autrement arêtes arrondies
Criblage possible, mais ne fait sens seulement si la voie a atteint une durée de vie suffisante et la charge future sera similaire.



Fig. 5: Catégorie de criblage **S3 (beaucoup de déchets d'exploitation et de concassé de ballast resp. d'abrasion des grains)**; vides remplis par des particules fines cohésives – pollution par le haut resp. du lit de ballast lui-même **criblage plus vraiment efficace**



Fig. 6: Catégorie de criblage **S2-3 (moyennement à beaucoup de déchets d'exploitation et moyennement à beaucoup de concassés de ballast)**; vides à peine visible, majoritairement remplis par des particules fines non cohésives – cependant par temps mouillé la réussite du criblage est réduite: Test sur le terrain avec la fourche à ballast produit des grains isolés.

De plus : granularité suffisante; grains recouverts de particules fine: arêtes vives à arrondies



Fig. 7 et 8: Catégorie de criblage **S4 (remontée de particules fines du dessous)**; vides à peine visibles, majoritairement remplis par des particules fines cohésives – **criblage plus possible**; Test sur le terrain avec la fourche à ballast produit des mottes resp. des agrégats.

Annexe E : Documentation de photos Aptitude au bourrage du lit de ballast (Focus examen de la zone de bourrage)

Description détaillée de l'état – **en gras** description nécessaire de l'étude dans le lit de ballast concernant la possibilité de bourrage



Fig. 1: catégorie de criblage S2 (peu de déchets d'exploitation et beaucoup de concassé de ballast dans la zone de bourrage) pores remplis par des particules fines non cohésives resp. du sable; plus assez de grains de ballast dans la zone de bourrage donc **bourrage plus vraiment efficace**



Fig. 2: catégorie de criblage S3 (beaucoup de déchets d'exploitation et de concassé de ballast dans la zone de bourrage) pores remplis par des particules fines non cohésives resp. du sable; plus assez de grains de ballast dans la zone de bourrage donc **bourrage plus vraiment efficace**



Fig. 3: catégorie de ballast S1-2 (peu à moyennement de déchets d'exploitation et de concassé de ballast, dans la zone de bourrage S2-3) par-dessus S1. Dans la zone de bourrage, encore tous les grains de ballast disponibles et donc **bourrage encore efficace**.



Fig. 4: catégorie de ballast S1-2 (peu à moyennement de déchets d'exploitation et de concassé de ballast, dans la zone de bourrage S2). Dans le zone de bourrage encore tous les grains de ballast disponibles et donc **bourrage encore efficace**.

Annexe F: Documentation de photos Nécessité des travaux de bourrage (Focus examen de la zone de bourrage)

Description détaillée de l'état – en général dans le cadre d'une étude du lit de ballast pas à déclarer



Fig. 1: lit de ballast jeune et pas encore bloqué; les grains ne présentent que des points de contact ponctuels; lors de l'ouverture de la fouille de sondage, beaucoup de ballast tombe au-dessous des traverses, autant des traverses en bois ou béton; élasticité existante dans le lit de ballast.



Fig. 2: début de solidification (orientation latéralement des grains) sous les traverses unterhalb der Schwellen; vides diminuent; surfaces de contact deviennent plus grandes; élasticité réduite dans le lit de ballast; bourrage doit à moyen terme décaler cette solidification



Fig. 3 und 4: niveau avancé de solidification sous les traverses; vides très petits; concassé de ballast et abrasion des grains se déposent; grandes surfaces de contact; élasticité fortement réduite dans le lit de ballast; en conséquence un espace vide se forme entre l'arête inférieure des traverses et le lit de ballast, ce sont des traverses danseuses (affaissement lors du passage d'un train ne se déroule qu'au-dessus du lit de ballast); bourrage doit avoir lieu à court terme



Fig. 5: avec un niveau avancé de solidification et la formation de traverses danseuses (espace libre entre l'AI de traverse et le lit de ballast), la plupart des grains de ballast sont cassés dans la zone de bourrage; bourrage doit avoir lieu à court terme mais seulement relativement efficace (existence de grains)



Fig. 6: vue de la zone de charge sous la traverse dans le cas d'une élasticité réduite du lit de ballast et traverses danseuses déjà existantes: espace vide entre l'AI de traverse et le lit de ballast: peu de déchets d'exploitation et concassé de ballast; justement pas la zone la plus pertinente pour l'appréciation de la nécessité à bourrer et l'aptitude au bourrage.



Fig. 7: élasticité fortement réduite du lit de ballast et traverses danseuses déjà existantes: espace vide entre l'AI de traverse et le lit de ballast; beaucoup de concassé de ballast et d'abrasion des grains; bourrage plus vraiment efficace

Annexe G: Documentation de photos Qualité du ballast



Fig. 1 (haut) et 2 (droite): Empreintes dues à l'appui grain sur grain; en cas d'une faible charge dynamique, ces empreintes sont une indication d'une résistance insuffisante – en cas de haute charge ces impressions peuvent être dues à une sollicitation excessive



Fig. 3 et 4: grain pas résistant au gel (doit composer <5% du pourcentage de la masse)



Fig. 5: grains majoritairement à arêtes arrondies (nouveau ballast)



Fig. 6: grains majoritairement arrondis (vieux ballast lavé)