

Annexe 7

Rapport technique des chefs de projets partiels

Projet

**STEP AS 2025
WAKO Lausanne-Berne**

Ligne
Désignation
Km

250
Lausanne-Est - Berne
0.940 – 95.800

Canton(s)
Commune(s)

Vaud, Fribourg, Berne
Lausanne, Pully, Belmont-sur-Lausanne, Lutry, Bourg-en-Lavaux, Puidoux, Granges (Veveyse), Bossonnens, Oron, Chapelle (Glâne), Ursy, Siviriez, Romont (FR), La Folliaz, Villaz-St-Pierre, Chénens, Autigny, Cottens (FR), Neyruz (FR), Avry, Matran, Corminboeuf, Villars-sur-Glâne, Fribourg, Granges-Paccot, Düdingen, Schmitten (FR), Bösingén, Wünnewil-Flamatt, Ueberstorf, Neuenegg, Köniz, Bern

N° ISP
Phase

114 19 03
Etude Préliminaire – Mise à jour juin 2018

Visualisation projet



Signatures

Maître d'ouvrage CFF

Département/VO I-FN-NED-UM
Nom D. Poncet / N. Luzzi
Date 18.5.18

Auteur de l'étude

Entreprise CFF SA / I-PJ
Nom Jean-Paul Droz
I-PJ-MP-LS

Auteurs :

Benjamin Ronzon (PJ-BSL), A. Monbaron Jalade et Charles Pralong (ENG-UMW), Emilie Rascol (ENG-IB-TB), Tristan Jakob (ENG-IB-TK), Eugenio Chaveiro (ENG-FB), Miguel Pampina (ENG-FB), Louis-Philippe Delorme (ENG-FS), Julien Fabing (ENG-GEO), Claudia Täschler (ENG-SAZ), Michel Philippon et Sergio Giorgetti (ENG-KAB), Daniela Di Stasi (ENG-BAT)

**Annexe au
Rapport d'étude préliminaire**

N° 250_LS-BN_Rapport EP

Ligne: 250 km: 0.940 – 95.800
Nom du fichier : 250 LS-BN -WAKO-mesures detaillee par domaine specialise 18.05.18.docx

CFF, Infrastructure projets – Projets multiples Lausanne, Case postale,

1001 Lausanne

Version	Description	Etabli	Contrôlé	Validé
0	Version de base	18.5.18		

Table des matières

1.	Mesures	4
1.1.	Géomatique	4
1.1.1.	Bases.....	4
1.1.2.	Vitesses/valeurs dynamiques	4
1.1.3.	Principes concernant les choix de modifications de la géométrie.....	5
1.1.4.	Entraxes	5
1.1.5.	Passage à niveau de Villaz-St-Pierre	5
1.1.6.	Optimisations possibles	6
1.1.7.	Risques identifiés.....	6
1.2.	Voie ferrée.....	7
1.2.1.	Situation existante.....	7
1.2.2.	Situation future	9
1.3.	Génie civil	13
1.3.1.	Situation initiale.....	13
1.3.2.	Situation future	13
1.3.3.	Réalisation des études.....	15
1.4.	Ouvrages d'art.....	16
1.4.1.	Situation actuelle	16
1.4.2.	Situation future	16
1.5.	Accès aux trains.....	21
1.6.	Installations de sécurité	23
1.6.1.	Situation initiale.....	23
1.6.2.	Situation future	23
1.7.	Câbles	25
1.8.	Ligne de contact	26
1.8.1.	Situation actuelle	26
1.8.2.	Situation future	26
1.9.	Environnement	28
1.9.1.	Résumé des impacts environnementaux	28
1.9.2.	Documents de projet	28
1.9.3.	Justification / description du projet.....	28
1.9.4.	Procédure.....	29
1.9.5.	Données de trafic	30
1.9.6.	Risques du projet	31
1.9.7.	Description du site et des environs	31
1.9.8.	Analyse environnementale.....	34
1.9.9.	Domaines non significatifs	35
1.9.10.	Domaines significatifs	36

1. Mesures

Cette annexe décrit de manière détaillée les mesures prises par chacun des domaines spécialisés pour la mise en oeuvre du projet WAKO.

1.1. Géomatique

1.1.1. Bases

Pré-étude «Analyse de potentiel» AT - PJ-RWT de 2010-2011.

À cette époque et concernant le comportement dynamique (valeurs limites pour VW), aucune réglementation n'existait (les «Leitfaden zur Zulassung des FV-Dosto für Zugreihe W» datent du 12 septembre 2012). Les valeurs limites dynamiques utilisées alors étaient légèrement plus permissives que les valeurs actuelles (par exemple $id_{max} = 210$ mm pour $R > 400$ m et $id_{max} = 195$ mm pour $R < 400$ m).

De plus, l'horaire calculé ne tenait pas compte de la LHand. Les dévers en zone de quai à respecter n'ont été fixés que dans le cadre des «mesures transitoires 2012» de l'OFT. De plus de l'avis général, les deux thématiques Wako et LHand devaient être traitées séparément, ce qui ne correspond plus aux prises de positions actuelles de l'OFT.

Etude préliminaire de 2015 :Géométrie de la voie DfA état au 06.11.2013.

Les projets qui étaient présents dans la DfA à cette date étaient considérés comme réalisés.

Intégration des modifications de tracés pour les quais de Thörissau-Dörf qui diminuaient les vitesses R et W.2017 - réactualisation de l'étude préliminaire : Géométrie de la voie DfA état au 06.10.2017. Les projets prévus jusqu'en 2019 sont considérés comme déjà réalisés.

Les secteurs des gares de Lausanne et de Berne sont ignorés dans l'étude.

Les profils en long ne sont pas étudiés.

1.1.2. Vitesses/valeurs dynamiques

Les vitesses WAKO V_w max géométrique indiquées dans cette étude sont des vitesses maximales théoriques pour une géométrie de la voie respectant les valeurs dynamiques maximales suivantes :

$$\begin{aligned} R_{min} &= 250 \text{ m} \\ d_{max} &= 160 \text{ mm} \\ d_{max(AV)} &= 110 \text{ mm} \\ id_{max} &= 207 \text{ mm pour } R > 400 \text{ m} (*) \\ id_{max} &= 191 \text{ mm pour } R < 400 \text{ m} (*) \\ id_{max(AV)} &= 110 \text{ mm} \\ did/dt_{max} &= 95 \text{ mm} \\ dd/dt_{max} &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

(*) Remarque : les standards concernant la dynamique sont actuellement en cours de modification. Voir les conséquences potentiel au chapitre 1.1.7 et 1.1.8.

Remarque importante : la vitesse WAKO effective sur le tronçon ne pourra être confirmée que par une course d'essai/d'homologation après la réalisation des travaux.

Remarque : Selon information de l'OFT lors d'une séance I-AT-FW-TAFB-TRP/OFT le 16 avril 2014, aucune dérogation ne sera à priori accordée concernant la valeur maximale de l'insuffisance de dévers dans la branche principale des appareils de voie qui est de 110 mm. Les appareils de voie concernés sont intégrés dans cette étude.

1.1.3. Principes concernant les choix de modifications de la géométrie

Petites optimisations de la géométrie afin d'augmenter la vitesse potentielle de WAKO sur le tronçon Lausanne-Berne par des ripages (si possible inférieurs à 200 mm pour minimiser l'ampleur des travaux) et des modifications du dévers respectant les valeurs dynamiques pré-citées.

Homogénéisation de la vitesse sur les plus long tronçons possibles c'est-à-dire limitation du nombre de seuils de vitesse. (On a essayé dans la mesure du possible de conserver au minimum le profil de vitesse de l'étude de 2011 mais ce n'était pas possible partout et notamment Thörnsau-Dorf à cause du projet de quai devant respecter la LHand. (Voir annexe 4).

Chaque fois que la géométrie d'un tracé a dû être modifiée pour VW, elle a été modifiée de sorte qu'elle respecte également les valeurs dynamiques normales pour VR.

La liste des zones de modifications de la géométrie ripages/dévers et de modifications d'AV proposées est disponible en annexe 2. Le synoptique général Tilos (annexe 1) illustre les modifications géométriques en rouge sous la dénomination « WAKO Geo ».

Les ripages sont indicatifs et donnés sur la base du tracé théorique. En fonction des interactions avec des projets connexes et de l'ampleur des zones de travaux. Le calcul de la géométrie lors de l'étude de détail de l'avant-projet pourra occasionner des ripages plus grands ou plus petits selon les cas.

1.1.4. Entraxes

Dans cette étude, on augmente l'entraxe de 3.60 m à 3.80 m seulement pour les vitesses W supérieures à 140 km/h.

Pour les vitesses inférieures à 140 km/h, dans les zones où on prévoit de modifier la géométrie pour WAKO, il est difficile de déterminer les zones de transitions d'entraxe. Par conséquent et par soucis de simplification, les entraxes existants de 3.60 m sont conservés dans cette étude pour les vitesses inférieures à 140 km/h. Toutefois lors d'étude de détails, l'augmentation d'entraxe à 3.80 m devra dans tous les cas être considérée et mise en œuvre dans la mesure du possible.

Attention : R RTE 20012 Tableau 68 Entraxe spécial. Certains entraxes devront tout de même être augmentés si les dévers respectivement l'insuffisance de dévers sont grands pour la catégorie R. Ceci devra impérativement être contrôlé et validé avec I-AT-FW-TNZ lors de l'avant-projet.

1.1.5. Passage à niveau de Villaz-St-Pierre

L'importance de la ligne ferroviaire et du trafic routier empruntant ce passage à niveau, font que ce dernier doit être considéré comme un point fixe du point de vue du tracé des voies. Passer ce PN à 160 km/h provoque une insuffisance de dévers de 207 mm et ceci n'est pas

acceptable du point de vue du règlement sur la géométrie de la voie (limite selon RI 22046 pour un point fixe : 100 mm).

Par conséquent, ce PN doit être supprimé pour pouvoir viser une vitesse de 160 km/h dans cette zone. Dans le cas contraire, le PN devra être franchi à la vitesse R actuelle soit : 130 km/h. Cette dernière solution a pour conséquence d'introduire un creux de vitesse à 130 km/h au milieu un long tronçon de potentiel $V_w = 160$ km/h et donc une perte de temps qui peut être estimée à 6 sec (voir rapport principal ch. 8).

1.1.6. Optimisations possibles

Selon les derniers standards disponibles pour WAKO (en cours de validation par l'OFT), il n'y aura plus qu'une seule limite pour l'insuffisance de dévers : $d_{max} = 207$ mm quel que soit le rayon (validité pour $R > 250$ m). En conséquence, si ces standards sont validés, entre le km 18.000 et le km 30.400 certaines modifications seront moins importantes (moins de ripages) voire plus nécessaires (voir aussi rapport principal ch.13).

1.1.7. Risques identifiés

1.1.7.1. Valeurs dynamiques

Le principal risque au niveau de la géométrie des voies réside dans le changement des valeurs dynamiques maximales définies pour WAKO, respectivement dans la preuve que le véhicule peut les supporter.

Par analogie, les chiffres correspondants pour les trains pendulaires de l'article 17 des DE-OCF:

- 8.2.4. Tout le véhicule doit pouvoir supporter la vitesse de rotation résultant de la modification du dévers en fonction du temps dans la courbe de raccordement. La preuve doit en être fournie dans le cadre de l'homologation de véhicule liée au tronçon
- 8.3.2.4. Les possibilités d'application des valeurs-limites en exploitation [...] doivent être prouvées lors de l'homologation de véhicule liée au tronçon [...]. Il faut également prouver que les longueurs des courbes de raccord ou des rampes de dévers sont suffisantes eu égard au temps de réaction et à la vitesse de rotation atteinte par le dispositif d'inclinaison des caisses.

1.1.7.2. Dévers maximal en zone de quais

Les valeurs définitives de dévers maximal en zone de quai (NB: on ne connaît actuellement que les valeurs des mesures transitoires à priori : $d_{max} = 75$ mm), respectivement l'importance des travaux pour respecter la loi sur les handicapés constituent également une incertitude sur la fiabilité de l'horaire pour V_w sur LS-BN.

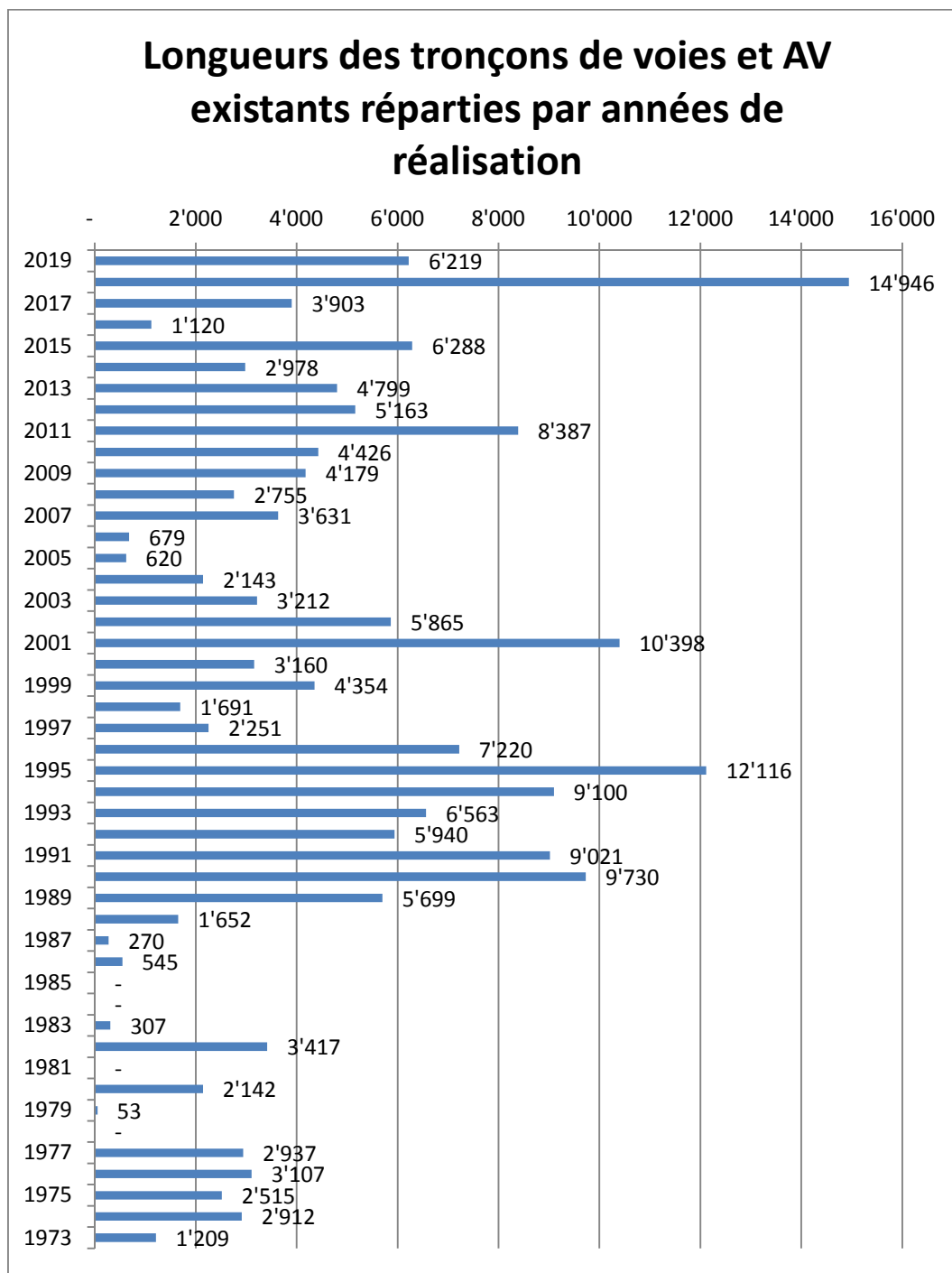
1.2. Voie ferrée

1.2.1. Situation existante

Le tronçon concerné entre Lausanne-Est et Berne représente 189,147 km de voies et d'AV confondus sur des voies de catégorie VP1, classe 1.

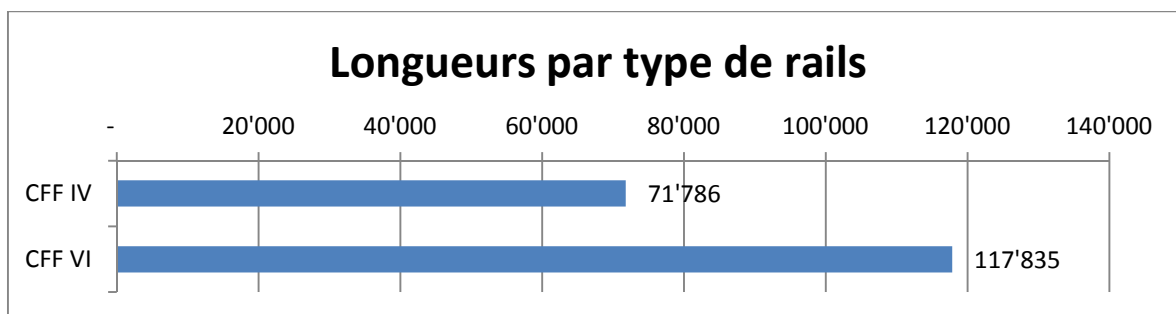
Les tronçons réalisés jusqu'en 2021 sont considérés comme réalisés.

Les tronçons les plus anciens datent de 1973 (soit 44 ans).

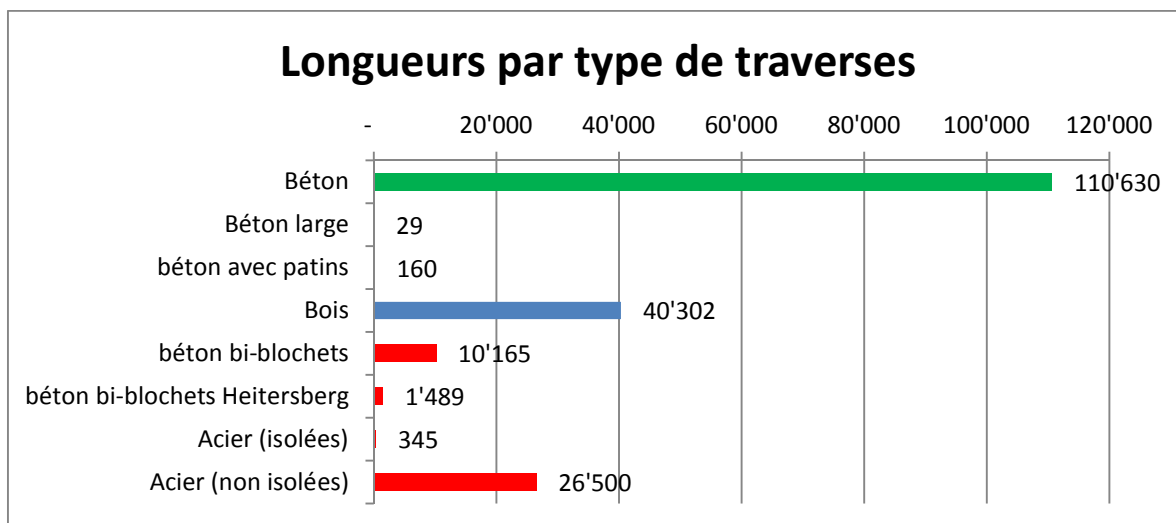


Etat juin 2015-non mis à jour

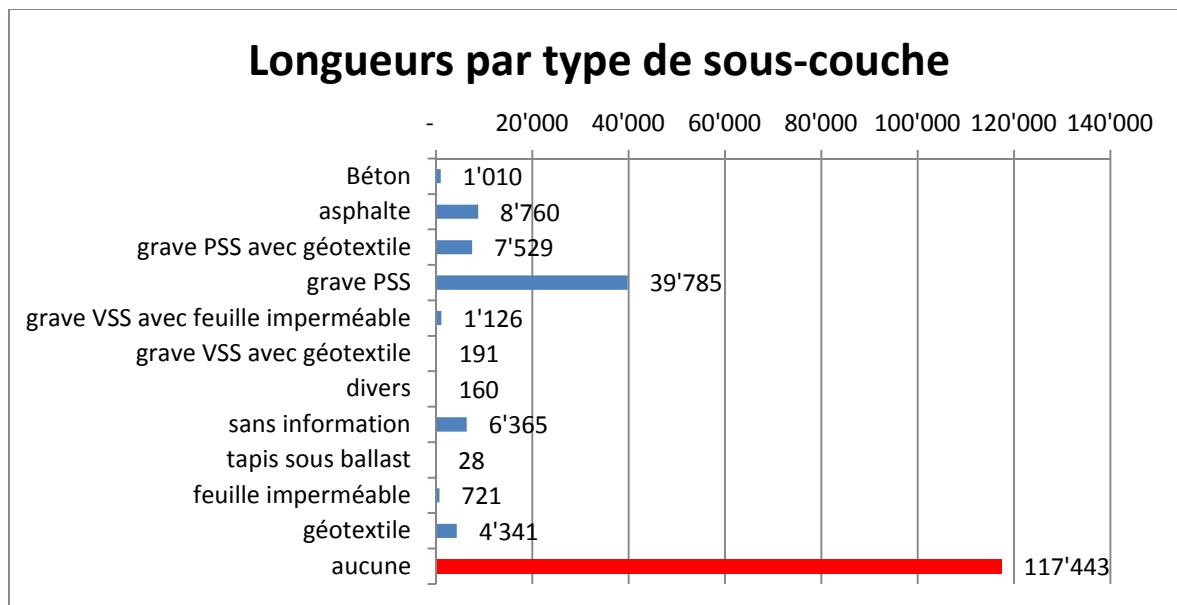
Le type de rails nécessaire pour une VP1 est le rail UIC 60 E1/E2 (CFF VI). Cependant, il subsiste encore une grande part de rails de type UIC 54 (CFF IV).



Le type de traverses sur ces tronçons est relativement disparate. Tous les types ne correspondent pas aux minima exigés par le standard WAKO (près de 79 km).



Le type de sous-couche sur ces tronçons est relativement disparate. Une grande partie ne contient pas de sous-couche (près de 130 km). Tous les types restants ne correspondent pas aux minima exigés par le standard WAKO.



1.2.2. Situation future

Le système WAKO est prévu avant tout pour supporter une insuffisance de dévers supérieure à la valeur standard pour la catégorie R et, de ce fait, permettre aux trains équipés de ce système de rouler près de 10-15 % plus rapidement que les vitesses selon la catégorie R.

Cependant, ce système aura pour effets de générer une accélération transversale plus élevée. Tous les efforts supplémentaires vont malmener le matériel existant en créant des contraintes de traction plus élevées au niveau du système d'attache intérieur du rail extérieur de la courbe. Par courrier du 5.12.2012, l'OFT a approuvé les principes pour la phase transitoire d'adaptation de l'infrastructure pour la catégorie W.

En alignement, le matériel existant n'étant pas plus sollicité avec WAKO qu'avec R pour une vitesse identique, il serait possible de laisser le matériel existant en place. Cependant, il nécessiterait tout de même une surveillance accrue à proximité immédiate des courbes de transition. Pour le moment, afin de limiter les risques mais pas les coûts, il ne sera pas fait de distinction entre les courbes, les courbes de transitions et les alignements.

Tous les tronçons avec une vitesse W devront être mis en conformité selon le standard WAKO ci-dessous :

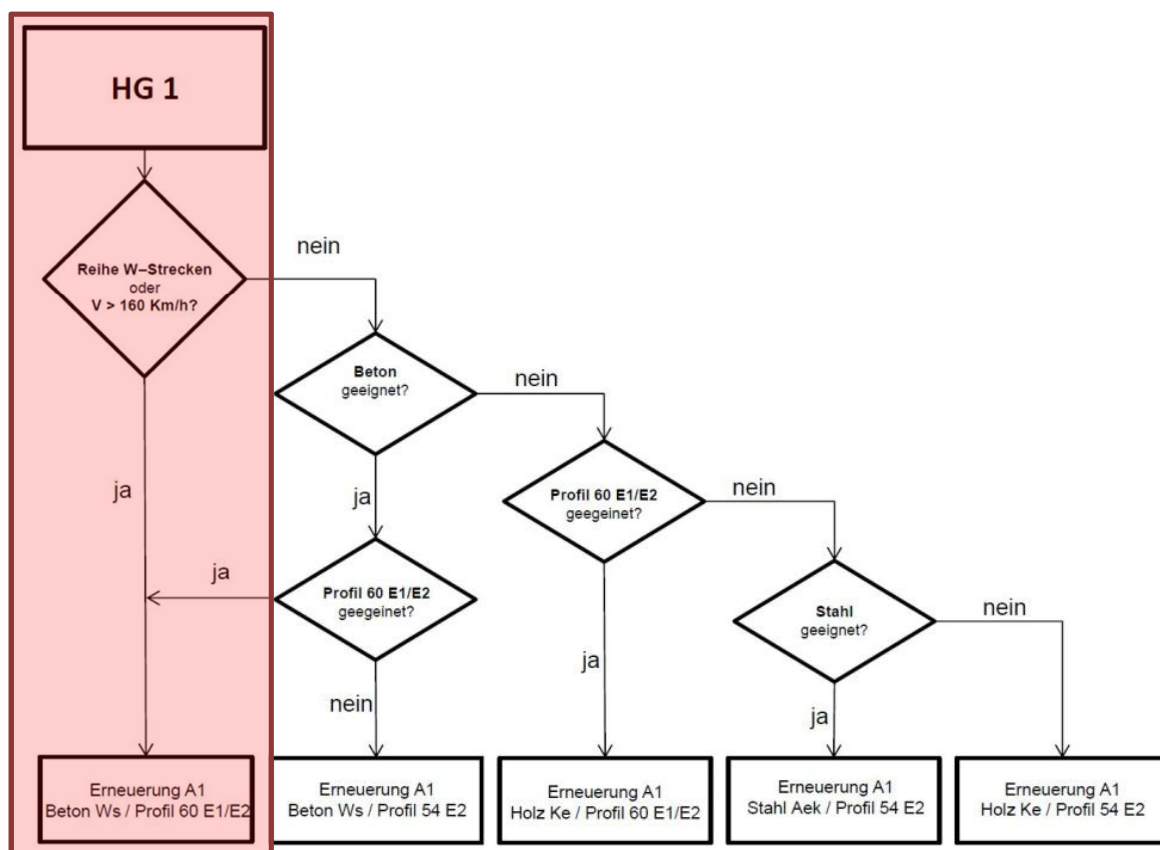
- Rail
 - type UIC 60 E1/E2 (CFF VI) ou type UIC 54 E2 (CFF IV) et mesures transitoires convenues avec l'OFT selon courrier du 5.12.2012.
- Traverses
 - Béton monobloc B06, B71 ou B91
- Epaisseur standard de ballast de classe I
 - 30 cm sur infrastructure souple ou 40 cm minimum sur infrastructure rigide / idéalement 55 cm sur infrastructure rigide dans la mesure du possible
- Une infrastructure adéquate

- Grave PSS épaisseur 30 cm minimum ou Enrobé AC Rail épaisseur 7 cm avec grave GNT épaisseur 25 cm minimum
- Une infrastructure drainée
 - Profil de drainage selon les standards applicables

Le règlement I-22211 édition 09.2014 intègre déjà le standard et le processus pour les ligne de catégorie W (WAKO)

La pose de traverses en béton et, le cas échéant, la mise en œuvre de mesures d'assainissement de l'infrastructure sont obligatoires dans les cas suivants:

- La ligne est parcourue à une vitesse $V > 160$ km/h.
- Il s'agit éventuellement d'une ligne de cat. W.
En d'autres termes, sur les lignes effectivement de cat. W (actuellement Lausanne–Berne et Zurich–St. Margrethen), la superstructure standard est la suivante: traverses en béton avec profil de rail 54 E2 ou supérieur, catégorie de ballast I et infrastructure conforme aux règlements avec drainage fonctionnant correctement.



Tout autre matériel en place fera l'objet d'une étude approfondie en phase d'avant-projet et pourra éventuellement diminuer les coûts initialement prévu (par exemple les tronçons avec traverses bois avec moins de 70% de durée de vie ou les tronçons en alignement).

Tout le tronçon devra être drainé correctement. Pour le moment, nous considérons que seules les zones dont nous avons une description détaillée de l'infrastructure sont drainées. Les zones sans infrastructure devront être modifiées et le système de drainage existant devra être corrigé le cas échéant créé

1.2.2.1. Propositions de travaux

Nous avons classé les travaux à prévoir par degré d'importance. La liste des degrés d'importance avec les longueurs concernées sont répertoriés dans le tableau ci-dessous (état 2015) :

Degré d'importance	Description	Longueurs [m]	À mettre en conformité avant 2030 Oui / Non
1	Traverses bi-blochet ou acier en courbe	29'286	Oui
1b	Traverses bi-blochet ou acier en alignement	10'312	Oui
2	Traverses bois en courbe	16'431	Oui
2b	Traverses bois en courbe avec durée de vie < 70%	3'161	Oui
2c	Traverses bois en alignement	14'991	Oui
3	Traverses béton monobloc avec rail CFF IV en courbe	6'515	Non
3b	Traverses béton monobloc avec rail CFF VI en courbe sans sous-couche	14'071	Non
3c	Traverses béton monobloc avec rail CFF VI en courbe sans information sur sous-couche	260	Non
4d	Traverses béton monobloc avec rail CFF IV ou VI en courbe sans sous-couche ou sans information sur sous-couche	28'401	Non
		120'267	

Cette proposition toujours d'actualité permet de réduire la totalité des travaux (FBE compris) à 74'181 mètres de voies et AV à remplacer avant 2030 (soit environ 37% de travaux en moins).

1.2.2.2. Superstructure

Selon le tableau des propositions de travaux, les longueurs totales de remplacement de superstructure se répartissent selon le type de projet comme suit :

	Acier, Bi-bloquets, CFF I	Acier, Bi-bloquets, CFF I en alignement	Bois CFF IV ou VI	Bois CFF IV ou VI moins de 70% de vie	Bois CFF IV ou VI en alignement	Totaux
_NOUV	8'349.56	3'062.72	2'287.43	3'161.04	3'539.33	20'400.09
_OE_NOUV	20'936.93	7'249.71	14'143.66	-	11'451.75	53'782.04
Totaux	29'286.49	10'312.43	16'431.09	3'161.04	14'991.08	74'182.13

Légende des 3 tableaux suivants: **_NOUV** = **WAKO** **_OE_NOUV** = **FBE**

1.2.2.3. Infrastructure et ballast

Les 2 voies ont été analysées par le service interne spécialisé dans la géotechnique. Ils ont pu produire un schéma avec les mesures nécessaires ainsi que les risques connus pour une variante avec nouvelle superstructure en béton.

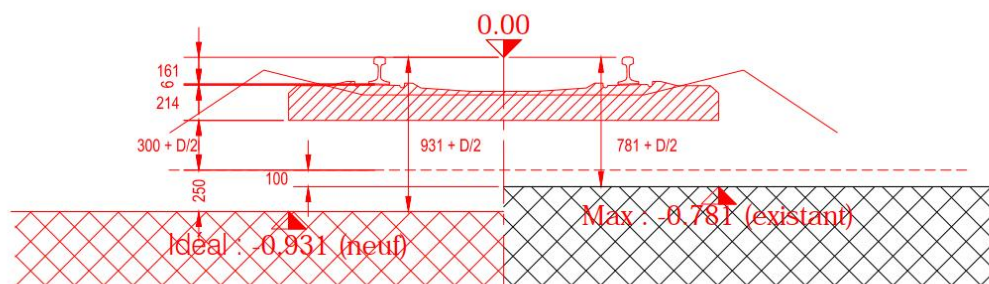
Grâce aux données actuelles, nous avons pu limiter la longueur des travaux d'infrastructure au strict nécessaire.

	Criblage ou excavation totale	Nouvelle infrastructure	Nouvelle infrastructure et drainage	Totaux
_NOUV	3'768.04	6'813.57	12'432.22	23'013.84
_OE_NOUV	11'748.52	3'752.40	38'281.13	53'782.04
Totaux	15'516.56	10'565.97	50'713.35	76'795.88

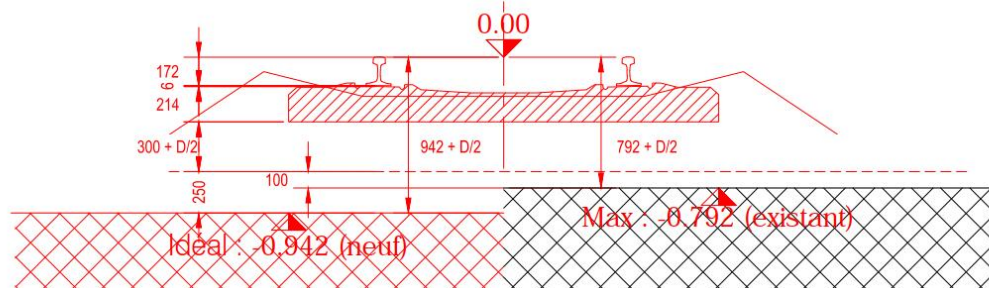
Cependant, il subsiste encore une grande incertitude concernant les données de l'infrastructure existante. Au démarrage de chaque avant-projet, un rapport géotechnique devra être établi pour définir plus précisément les types d'interventions tout en intégrant la question des épaisseurs de ballast sur ouvrages..

Le schéma ci-dessous résume les exigences des directives existantes sur infrastructure rigides.

Rail 54 / Traverse B91 / sur ouvrage / D = 0



Rail 60 / Traverse B91 / sur ouvrage / D = 0



R RTE 21110 - Infrastructure et ballast - 7 Assainissement de l'infrastructure de voies existantes
 * Ce chapitre contient les instructions applicables aux travaux sur les voies en service lorsque, pour des raisons d'ordre pratique, ils ne peuvent pas être exécutés d'après le procédé utilisé pour les nouvelles voies. L'on s'efforcera d'atteindre le même standard de qualité que pour les nouvelles voies, même si les procédés décrits ci-après ne le permettent pas toujours. * —> De ce fait, la solution de gauche est à privilégier. I-PJ-NEP-PFOE-LS / CHE / 07.03.2013

1.2.2.4. Drainage

Les drainages prévus pour le moment sont répertoriés ci-dessous :

	Type 1	Type 2	Type 4a	Totaux
_NOUV	312.67	-	12'119.55	12'432.22
_OE_NOUV	1'342.90	365.70	36'572.54	38'281.13
Totaux	1'655.57	365.70	48'692.09	50'713.35

1.3. Génie civil

1.3.1. Situation initiale

Le tableau en annexe (voir pièce 2f – étude 2015 en annexe 12.3) recense tous les murs de soutènement existants avec leurs caractéristiques connues:

- Km (début/fin)
- Côté (G/D)
- Nature de l'ouvrage
- Longueur
- Hauteur max.
- Distance à l'axe de la voie existante
- Surface de l'ouvrage
- Ouvrage Amont/Aval
- Note à la dernière inspection
- Position par rapport à la courbe (int/ext)
- Rayon des courbes
- Vitesse actuelle pour cat. "R" et "A" (V_R et V_A)

1.3.2. Situation future

Le même tableau recense aussi les caractéristiques liées au projet d'améliorations géométriques (à ce stade d'étude des corrections du profil en long n'ont pas été définies):

- Distance à l'axe de la voie projetée
- Ripage projeté
- Augmentation de vitesse projetée pour la catégorie "W"
- Rayon
- Vitesse projetée possible pour cat. "W" (V_W)
- Vitesse projetée retenue pour cat. "W" (V_{MSI}).

1.3.2.1. Identification des ouvrages impactés par le projet

La note de calculs (voir pièce 2g) indique la méthode utilisée pour identifier les zones où la nouvelle catégorie "W" implique une augmentation de la composante horizontale de la charge appliquée au rail (QZ_k). L'augmentation de cette charge lorsque la voie est proche d'un mur de soutènement aval nécessite des interventions de renforcement des ouvrages concernés.

- 39 murs sont impactés par ce critère

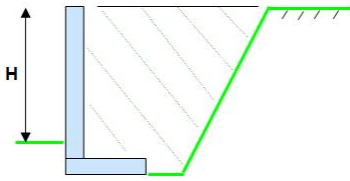
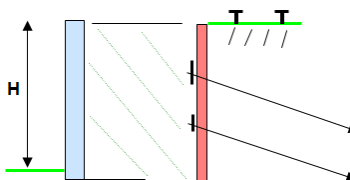
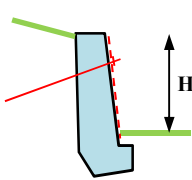
Les trains de la catégorie "W" n'ont pas une charge à l'essieu (QY_k) supérieure à celle des autres catégories. Par contre lorsque les ripages prévus rapprochent la charge de l'ouvrage, un renforcement peut s'avérer nécessaire (ripage défavorable contre un mur aval).

- 2 ouvrages sont impactés par ce critère.

Nous avons vérifié si des murs de soutènement amont devaient être reconstruits pour cause de détérioration d'une situation déjà en dérogation du point de vue du PEL, sans augmentation des charges sur l'ouvrage. Il n'y en a heureusement pas si l'on admet une distance minimale de 2.40 m à l'axe de la voie. Il faudra veiller à ne pas créer des situations de ce type lors des prochaines itérations d'amélioration de la géométrie du projet.

1.3.2.2. Types d'intervention et prix unitaires

Les ouvrages impactés par le projet, triés selon les critères expliqués ci-dessus, ont été classés en 4 types d'intervention d'assainissement. Les coûts indiqués sont tirés du "Kostentool", base 10/2013 et de notre expérience. Ils s'entendent pour les travaux de génie civil, sans honoraires ni sécurité. Les éventuels déplacements d'installations et équipement fixés à ces ouvrages ne sont pas non plus compris. Les murs d'ailes des ouvrages d'art (PI-PS) sont pris en compte avec ceux-ci. Il faut noter que les documents d'archives manquent pour la plupart des murs de soutènement et que des frais de relevé et de sondage seront nécessaires dans les phases ultérieures du projet. Ils ont été évalués sous le poste "divers et imprévus" :

1	Reconstruction de mur amont (type 2 selon Kostentool) en béton armé		2'200.-/m2 pour toutes les "H"
2	Reconstruction de mur aval (type 3 selon Kostentool) en béton armé		4'000.-/m2 pour "H" < 4.00m 4'500.-/m2 pour "H" > 4.00m
3	Assainissement de murs poids en maçonnerie ancienne (clous d'ancrages, barbacanes, jointoyage...)		1'500.-/m2 pour toutes les "H"
4	Assainissement léger de petits ouvrages en bon état		700.-/m2

5	Risque de relevage	Voir schéma ci-dessous	1'000.-/ml avec clous passifs pour renforcer le mur
---	--------------------	------------------------	---

Le risque de relevage des murs est lié au profil en long. En l'absence de données, la quantité de murs impactés est impossible à quantifier. D'expérience cependant, il est très rare de devoir relever un mur à cause d'un FbE.

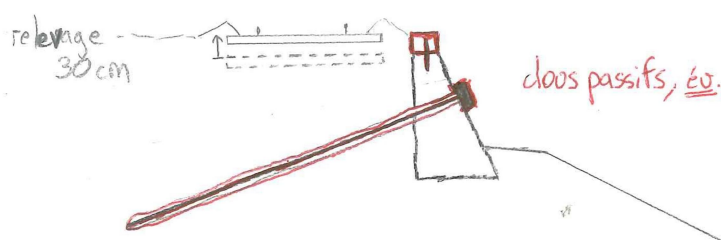


Schéma de principe du relevage d'un mur sans mise en place d'un cheminement piéton

1.3.2.3. Zone de glissement de terrain

Sur le secteur Wünnewil-Flamatt, entre les km 79.0 et 83.4 de la ligne, des travaux de stabilisation de la plateforme ont été nécessaires suites à des glissements de terrain. Lorsque ces zones se situent en courbe centre amont, il faut prévoir des travaux de renforcement visant à reprendre l'augmentation de la composante horizontale de la charge appliquée au rail (QZk). Les zones identifiées sont décrites dans l'annexe à la note de calculs (voir pièce 2h). Les coûts de ces renforcement sont encore évalués très sommairement à ce stade d'étude.

1.3.3. Réalisation des études

1.3.3.1. Campagne de reconnaissance

La campagne de reconnaissance comporte différents types de travaux :

- Reconnaissance géométrique des murs et des talus sur la base des informations visibles sur le terrain
- Reconnaissance géologique du terrain (forages carottés ou sondages à la pelle mécanique)
- Sondages des murs pour en déterminer l'épaisseur, la présence éventuelle de semelle
- Réalisation d'essais de laboratoire (sol, roche, éléments constructifs)

En comptant les honoraires des mandataires, le coût de cette campagne est estimé entre 1'000'000 CHF et 3'000'000 CHF pour toute la ligne.

1.3.3.2. Problématique des délais

Les études concernant les ouvrages de génie civil ne pourront démarrer que lorsque la géométrie est définie, avec un profil en long figé, pour les 2 voies.

Le délai de réalisation de l'acquisition des données, ainsi que les études des ouvrages, pourrait poser problème pour :

- envoyer le projet en procédure d'approbation en même temps que le FbE
- réaliser les travaux en même temps que le FbE

Il pourrait donc être nécessaire de prévoir des intervalles de travaux spécifiquement pour la réalisation des travaux de génie civil.

1.4. Ouvrages d'art

1.4.1. Situation actuelle

La ligne Lausanne – Berne compte un peu plus d'une centaine de passages inférieurs et viaducs. Ceux qui sont dans le périmètre du projet WAKO sont listés dans le tableau de l'annexe 9.1 et sont visible sur le synoptique général Tilos(annexe 1).

Les ouvrages en maçonnerie sont particulièrement sensibles aux effets de la force centrifuge. Une augmentation de cette force ne peut être admise que si des mesures sont prises pour ne pas solliciter davantage les murs tympans du côté extérieur de la courbe. Les mesures y liées sont décrite au chapitre suivant.

L'épaisseur de ballast sur les ouvrages a été vérifiée au moyen de mesures par géoradar (annexe 9.2). Les résultats montrent que l'épaisseur de ballast sous traverse est souvent faible, avec 54 ouvrages présentant une épaisseur minimale inférieure à 40 cm (annexe 9.1).

Les distance entre l'axe des voies et les gardes-corps ont également été vérifiées. On dénombre 28 ouvrages avec des empiètements dans le PEL, à savoir une distance inférieure à 2.50 m.

1.4.2. Situation future

1.4.2.1. Ouvrages en maçonnerie soumis à une augmentation de force centrifuge

Les augmentations de vitesse prévues par le projet WAKO provoquent une augmentation de force centrifuge substantielle sur cinq ouvrages en maçonnerie situés en courbe.

Pour les deux ouvrages suivants, des projets sont en cours et ne sont pas à mettre à charge du projet WAKO car déjà mandaté (avec travaux réalisés avant mise en service WAKO)

➤ Viaduc du Châtelard km 6.395, $V_w = 120$ km/h

- La longueur du viaduc est de 140 m. La voie est en partie en alignement et en partie en courbe.
- Il est prévu de créer un tablier en béton armé coulé en place, sur tout le viaduc, en travaillant par demi-largeur.
- Coût : 21'000'000.- +/- 30%
- Planification: en attente mandat AP / exécution horizon 2022

- Pont sur la Singine km 86.252, $V_w = 115$ km/h
 - Le pont a une longueur de 75 m. La voie est en courbe.
 - Il est prévu de créer un tablier en béton armé coulé en place.
 - Coûts : 10'000'000.- +/- 30% (source : EP réalisée par PJ-RME)

Pour les trois ouvrages suivants, une mise en conformité est nécessaire dans le cadre du projet WAKO :

- PI du Toloveau km 12.801, $V_w = 130$ km/h
 - Il s'agit d'un ouvrage voûté en maçonnerie. Le PI a une longueur de 10 m environ. La voie est en courbe.
 - Il est prévu de créer un tablier en béton préfabriqué, par demi-largeur.
 - Mesures d'exploitation : env. 48 heures de simple voie pour chacune des deux voies
 - Coûts : 2'500'000.- +/- 30%
- Pont sur le Flon km 13.390, $V_w = 130$ km/h
 - Il s'agit d'un ouvrage voûté en maçonnerie. Le PI a une longueur de 4 m environ. La voie est en courbe.
 - Il est prévu de créer un tablier en béton armé préfabriqué, par demi-largeur.
 - Mesures d'exploitation : env. 48 heures de simple voie pour chacune des deux voies.
 - Coûts : 2'000'000.- +/- 30%
- PI du Clédard km 55.325, $V_w = 110$ km/h
 - Il s'agit d'un ouvrage voûté en maçonnerie. Le PI a une longueur de 7 m environ. La voie est en courbe. Il est situé au droit de la halte de Neyruz.
 - Il est prévu de créer un tablier en béton armé préfabriqué, par demi-largeur. Vu la faible hauteur entre le sommet de la voûte et la voie, il sera vraisemblablement nécessaire de démolir la voûte. Il est admis que la halte de Neyruz, non conforme en raison du fort dévers, sera déplacée et que par conséquent il n'est pas nécessaire de prévoir la reconstruction des quais au droit du PI.
 - Mesures d'exploitation : env. 48 heures de simple voie pour chacune des deux voies.
 - Coûts : 2'500'000.- +/- 30%

1.4.2.2. Ouvrages avec insuffisance de ballast et / ou empiètement des gardes-corps dans le PEL :

Pour ce type d'ouvrage, les adaptations à prévoir varient selon les cas suivants :

- Ouvrages avec insuffisance de ballast et/ou empiètement du PEL, dans le cas où des travaux de voie sont prévus :
 - Elargissement de l'ouvrage au moyen de nouvelles bordures

Les ouvrages concernés sont les suivants:

- PI du Levant km 2.013
- PI de Rosset km 9.462
- PI de Lanchaux km 9.774
- PI du Botonnet km 15.138
- PI de Gillarens km 26.131
- PI des Planches km 29.480
- PI Maison-Neuve km 36.252
- PI de Gilaz km 44.983 (nouveau tablier prévu, car tablier actuel en rails enrobés)
- PI de Maconnens km 47.400
- PI du Prallet km 47.608
- PI du Pontet km 48.800
- PI de Saugy km 50.331
- PI de Genevrex km 51.005
- PI de Cottens km 52.096
- PI des Rialles km 53.326
- PI de Neyruz 2 km 56.167
- PI de Friesenheim km 76.784
- PI Villars-sur-Glâne km 62.263

➤ Ouvrages, sans travaux de voie prévu :

- Aucune adaptation, l'épaisseur de ballast actuelle est conservée ainsi que la position des gardes-corps

➤ PI voyageurs

Si nécessaire, tous les PI voyageurs sont aptes à supporter une augmentation de l'épaisseur de ballast.

Dans le cas où aucun travaux de voie ne sont prévus, les épaisseurs de ballast existantes sont conservées.

Dans le cas où des travaux de voie sont prévus, les éventuelles adaptations des installations (quais etc..) nécessaire en cas d'augmentation du ballast ne seraient pas à charge de WAKO mais des projets spécifiques de mise en conformité des gares.

Les ouvrages concernés sont les suivants :

- PI de Montillier (gare de Pully) km 2.424
- PI voy. de Grandvaux km 8.303
- PI voy. de Moreillon km 14.670
- PI voy. de Palézieux km 20.579
- PI voy. de Romont km 40.235
- PI voy. de Villaz-st-Pierre km 45.057
- PI voy. de Chénens km 49.630
- PI voy. de Cottens km 52.412
- PI voy. de Neyruz km 55.373
- PI voy. de Rosé, km 57.524
- PI voy. de Villars-sur-Glâne km 62.120

1.4.2.3. PN de Villaz-St-Pierre

A ce stade, la suppression du passage à niveau n'est pas une option retenue pour atteindre le temps technique nécessaire. Cela impliquerait la réalisation d'un nouveau passage inférieur à Villaz-Saint-Pierre.

Le projet ci-dessous se base sur les plans de tracé et profil en long fournis par la commune.

Il est prévu de créer une route de contournement par l'ouest, reliant la route de la gare à la route de Romont. La route a une longueur de 450 m environ.

A ce stade nous avons envisagé les réalisations suivantes :

- tranchée ouverte entre la route de la gare et le PI CFF, avec murs de soutènement des deux côtés,
- PI en béton armé coulé en place,
- Tranchée ouverte avec talutage des deux côtés entre le PI CFF et la route de Romont,
- Création d'un giratoire pour le raccordement sur la route de Romont.
- Coût : 15'000'000 +/- 50% (éventuelles acquisitions de terrain non comprises)

1.4.2.4. Autres ouvrages avec projet séparé en cours

Les autres ouvrages suivants sont en cours d'étude et tiennent compte de toutes les exigences WAKO :

- Viaduc de la Rochettaz, km 3.193 (phase actuelle : EP / prévu : tablier béton)
- Viaduc de la Mionnaz droite km 22.764 (phase actuelle AP /prévu : tablier béton)
- Viaduc de Maconnens km 46.884 (Phase actuelle EP / prévu : tablier béton)
- Viaduc de Düdingen km 22.210 (EXE terminée / tablier béton réalisé)

1.4.2.5. Protection contre les chocs

Selon les DE-OCF art 27.2 et 27.3, en cas d'augmentation de la vitesse supérieure à 20 km/h, une analyse doit être faite concernant le risque de choc sur les ouvrages existants.

Pour les tronçons avec une telle augmentation de vitesse, aucun passage supérieur n'est concerné.

1.5. Accès aux trains

La liste des gares du tronçon est synthétisée sur le plan de l'annexe 5.

L'EP de 2015 partait de l'hypothèse que la mise en conformité des gares non accessibles serait réalisée d'ici fin 2023. Cette hypothèse n'est plus correcte, elle est corrigée dans la présente mise à jour selon l'état des connaissances de mars 2018 :

- Prise en compte des nouveaux projets (ex : Avry) et fermetures de points d'arrêt (Siviriez, Matran, Rosé)
- Prise en compte des projets réalisés dans le 1^{er} paquet LHand : 2020-2023
- Prise en compte des projets qui seront réalisés dans le 2^{ème} paquet en cours d'approbation par l'OFT : 2024-2028
- Prise en compte des gares qui ne seront probablement pas adaptées (approbation des gares concernées et des mesures mises en œuvre en cours d'approbation : mise en place de mesures d'organisation dès 2024),

Sur la ligne 250 entre Lausanne et Berne, les gares adaptées ou construites, déjà en cours d'études ou qui seront mandatées, prennent toutes en compte les exigences de WAKO. Pour ces gares, les coûts et risques identifiés dans l'EP de 2015 ne sont pas repris dans cette actualisation.

Les gares de Lausanne, Fribourg, Berne, ainsi que les gares qui seront mises en conformité dans le cadre du programme LHand mais sans mesures particulières WAKO ne sont pas considérées dans le périmètre d'étude ni dans les coûts de WAKO. Par contre, la coordination pour les travaux et les mesures d'exploitation sera assurée par WAKO.

En respectant les hypothèses du chapitre 4.4.7 du rapport principal seule les gares avec mesures constructives BZU et des travaux de voie WAKO ont été intégrés au périmètre de l'étude WAKO et à son coût. Il s'agit des 4 gares Oron, Cottens, Neyruz et Schmitten dont les études préliminaires sont données en annexe 12.7.

Les gares de Rosé et Matran sont considérées fermées en relation avec la mise en service de la nouvelle gare d'Avry-Matran (projet connexe).

Dévers en zone de quais :

Pour l'accessibilité aux trains, le dévers de la voie en zone de quais doit être $< 75\text{mm}$.

Les conséquences de la mise en conformité des dévers $> 75\text{mm}$ ont été analysées et les hypothèses suivantes ont été retenues (annexe 11 – Blick 3) :

- Si des mesures WAKO sont prévues :
 - o La réduction du dévers est possible sans réduction de vitesse => la correction se fait dans WAKO
 - o La réduction du dévers implique une réduction de vitesse (sans modification du plan des voies) => pas de correction dans WAKO (dérogation)
 - o La réduction du dévers nécessite une reconstruction des quais => pas de correction dans WAKO (dérogation)
- Si des mesures WAKO ne sont pas prévues : pas de correction du dévers

Des demandes de dérogation de maintien du dévers (supérieur à 75 mm) pour Palézieux, Romont, Villaz-St-Pierre, Chénens seront établies, une modification de ces dévers ayant des im-

pacts sur la vitesse de la catégorie R. (selon discussion dans le cadre de la séance Blick in die Werkstatt N°4)

Distance de sécurité sur les quais :

Pour la vérification des distances de sécurité sur les quais, V_w est considéré comme V_r (réf. R I 50129). Les conséquences d'une augmentation de V_w par rapport à V_r ont été analysées et les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Si un déplacement de la ligne n'est pas nécessaire $\Rightarrow V_w$ est augmentée
- Si un déplacement de ligne est nécessaire et possible sans mesures constructives (élargissement de quai par exemple) $\Rightarrow V_w$ est augmentée
- Si un déplacement est nécessaire et nécessite des mesures constructives : V_w est limitée à V_r maximale pour la distance de sécurité existante.

La vérification des effets aérodynamiques des trains Twindexx est en cours. Selon les résultats, si V_w peut être considérée comme V_n , alors la vitesse V_w pourrait être augmentée (selon profil de vitesse optimal) sans mesures constructives et sans coûts supplémentaires. Le gain de temps global a été calculé : il est estimé à 19 secondes

A noter qu'aucun coûts de refectioin de quai n'a été intégré au projet WAKO.

1.6. Installations de sécurité

Glossaire IS

ASB (automatischer Signalbetrieb) = CAS (commande automatique des signaux)

ETCS European Train Control System (système européen de signalisation et d'arrêt automatique des trains normalisé)

1.6.1. Situation initiale

Les installations de sécurité sont analysées par enclenchement. L'état de la ligne analysée est celui d'avril 2014 sauf les enclenchements de Thörishaus (y compris Bern Bümpliz Süd et Flamatt) et Bern Weyermannshaus dont le renouvellement est prévu pour 2015 respectivement 2016. Lors de la mise à jour de l'étude uniquement la position des signaux a été mise à jour. L'état de la signalisation pris en compte pour les analyses est celui février 2018.

1.6.2. Situation future

De manière générale pour tous les enclenchements, les travaux IS se résument à reprogrammer les balises ETCS et adapter l'ASB aux nouvelles vitesses. Ces travaux ne figurent pas sur le concept de signalisation parce que ce ne sont pas des modifications sur les installations extérieures, mais uniquement de programmation. Sur la ligne entière il faut poser les panneaux de vitesse pour la catégorie W.

Le Rollout ETCS a été réalisé pour la fin 2017 il n'y aura donc plus de balises à poser. La programmation de la vitesse W sera à contrôler sur l'entier de la ligne et le cas échéant à reprogrammer avec la nouvelle vitesse.

Dans un but d'optimisation, les travaux IS profiteront des interdictions de voie pour les travaux des autres services. Dans le chapitre 8, on suppose que la programmation peut être faite entre les trains sans interdiction des voies.

Dans cette étude, il est pris comme hypothèse que l'ASB de tous les signaux sur les 2 voies directes doit être adaptée. Une analyse exacte sera à effectuer lors des avants projets. Ces travaux doivent être faits pour tous les enclenchements.

Pour les gares de Fribourg et Düringen, l'adaptation de l'ASB et la reprogrammation des balises sont intégrées dans les projets du renouvellement de l'enclenchement. Il n'y aura donc pas de travaux « WAKO » proprement dit.

La pose des panneaux de vitesse est comprise dans les calculs des coûts par enclenchement. Les panneaux figurent sur le concept de signalisation. L'accès routier n'étant pas garanti, l'hypothèse est prise au chapitre 8 que la pose des panneaux se fait depuis le rail. La durée des étapes est estimée avec accès par le rail. Si la pose des panneaux ne se fait pas par le rail, il faudra compter plus de temps.

La forme de ces panneaux doit encore être définie en discussion avec l'OFT.

Les coûts sont calculés par enclenchement. Dans le calcul des coûts, il est considéré que chaque enclenchement n'est modifié qu'une fois. Cette hypothèse est surtout importante dans le cadre des enclenchements électroniques (Rosé, Vauderens, , Flamatt, Thörishaus et Bern Bümpliz Süd) pour lesquels il y a un montant de base qui est facturé à chaque fois qu'une modification doit être effectuée.

1.6.2.1. Vaudrens – Siviriez

Si les trains circulent en catégorie W180, la signalisation permet de rouler aux vitesses maximales prévues de 160 km/h entre Vaudrens et Siviriez.

Par contre, si les trains ne circulent qu'en catégorie W150, il faudra prévoir de déplacer 3 paires de signaux afin d'éviter une baisse de vitesse pour cette catégorie. (D821/921 et D*821/921 dans le sens Bern --> Lausanne et P*821/921 dans le sens Lausanne --> Bern).

1.6.2.2. Villaz-St.Pierre

Le PN à Villaz-St.Pierre ne peut être franchi qu'à 130 km/h. Afin de minimiser la distance parcourue à 130 km/h, des panneaux de vitesse sont posés des deux côtés de la halte dans les deux sens. Il y aura une courbe de sortie de halte à 130 km/h en direction de Fribourg. Si la vitesse de ligne au niveau du PN est augmenté à 160 km/h il est conseillé de supprimer le PN, car à partir d'une vitesse de 140 km/h il est obligatoire d'installer une surveillance de l'espace (DE-OCF, DE37c, chiffre 2). Actuellement le système utilisé ne peut plus être construit à neuf et le nouveau système n'est pas encore homologué.

1.6.2.3. Fribourg – Schmitten

Lors de l'avant-projet du renouvellement de la caténaire entre Fribourg et Schmitten la visibilité des signaux sera à vérifier.

1.6.2.4. Rosé

Le déplacement de la diagonale 1/2 en gare de Rosé nécessite le déplacement des signaux d'entrée (A835 et A935 au Km 56.758). Afin de ne pas pénaliser la vitesse de ligne R actuelle ainsi que W deux nouveaux signaux avancés d'entrée devront être posés avant la halte de Neyruz au Km 55.150. Les signaux avancés d'entrée actuels se trouvant après la halte de Neyruz seront rapprochés du quai au Km 55.440 afin d'améliorer leur visibilité et transformés en signaux répéteurs.

1.6.2.5. Enclenchement de Thörisau

La signalisation du nouvel enclenchement ne permet pas de rouler à 160 km/h sur tout le tronçon car les signaux sont trop proches les uns des autres. Une modification de l'enclenchement afin d'ajouter des maintiens d'une image de vitesse inférieure (Fahrbegriffstiefhaltung) supplémentaires est à prévoir dans les deux sens de marche.

1.6.2.6. Bern Europaplatz

Dans la halte de Bern Europaplatz une vitesse maximale de 140 km/h est admise. La vitesse est limitée par le biais d'une courbe.

1.6.2.7. Bern ouest

Les seuils de vitesse à partir de Bern Europaplatz jusqu'à Bern sont des seuils géométriques et théoriques. Les projets prévus dans cette région devront déterminer les positions exactes des seuils.

1.7. Câbles

Les prestations liées aux travaux d'infrastructure et superstructure voie ont été prises en considération selon les hypothèses suivantes :

- Dans les zones de drainage et de modification de l'infrastructure existante, les caniveaux seront supprimés. Les travaux comprennent les prestations ci-dessous :
 - Protection provisoire durant les travaux.
 - Pose de caniveaux neufs.
 - Les traversées à câbles, dont la profondeur est inférieure à 80 cm PDR - dessus béton seront construites à neuf et les anciennes traversées abandonnées. Il va de soi que les câbles seront également posés à neuf.
 - Dans la mesure du possible, toutes les traversées principales et en pleine gare ne seront pas modifiées. Elles ont été considérées comme risque.
- Dans les zones de criblage, les caniveaux, à partir du type 22, et à une distance rail – bord caniveau de min. 1.50 m subsistent à leur emplacement actuel. Toutes les canalisations secondaires seront reconstruites à neuf.
- Les prestations liées aux déplacement de signaux dans la zone de Rosé ont été prise en compte.
- L'exécution de la banquette pour la pose des caniveaux à été prise en compte mais sera réalisée suivant les cas par CprP Câble ou GC.

Les prestations liées aux travaux ci-dessous ont été prises en considération par le service concerné.

- Les travaux provisoires Câbles liés au travaux sur ponts ou viaducs sont inclus dans les prestations PJM.

Les travaux prévus avec l'enclenchement de Schmitten (tronçon pilote) doivent être liés et tenus en compte lors de la planification

Tous les autres travaux prévus sur la ligne doivent être coordonnés avec le projet WAKO et vice-versa

1.8. Ligne de contact

1.8.1. Situation actuelle

La ligne Lausanne – Berne est équipée de différents types de caténaires dont les plus anciennes datent de 1961. Il apparaît que les tronçons équipés d'une caténaire type R ne posent aucun problème tant du point de vue de l'alimentation que du point de vue de la vitesse.

L'alimentation depuis la sous station de Bussigny est actuellement insuffisante, toutefois elle sera renforcée dans le cadre des travaux d'extension de la gare de Lausanne et de la 4^{ème} voie Lausanne – Renens. De même, un nouveau poste de distribution doit être construit dans la zone des Paleyres à Lausanne, celui-ci sera équipé de disjoncteurs permettant une alimentation renforcée entre les sous-stations de Puidoux et Bussigny. Ce projet sera réalisé dans le cadre du projet des Paleyres.

Entre Lausanne et Puidoux, il y a encore deux tronçons en caténaire N, par contre ceux-ci sont équipés d'un câble porteur de 92 mm² ce qui fait que la section électrique est suffisante. La vitesse prévue étant inférieure à 125 km/h aucun travaux ne sont donc nécessaires sur ce tronçon.

Le tronçon entre Puidoux et Fribourg sera complètement équipé d'une caténaire de type R à l'horizon 2018, il n'y a donc aucune mesure à prendre au niveau caténaire. La puissance de la sous station de Romont sera adaptée par l'ajout du transformateur à l'horizon 2015.

Sur le tronçon Fribourg – Berne les tronçons suivants sont encore équipés d'une caténaire de type N limitée en vitesse (125 km/h) et en transit d'énergie (440 A) :

- Fribourg – Guin
- Guin – Schmitten
- Gare de Flamatt
- Flamatt – Thörishaus
- Bümpliz - Weyermannshaus

1.8.2. Situation future

1.8.2.1. Fribourg – Guin

Sur ce tronçon long de 5 km, il y a encore 2,9 km en caténaire N datant de 1961 celle-ci ne permet pas une vitesse supérieure à 125 km/h et elle a une section électrique insuffisante.

Ce tronçon sera parcouru dans le futur à une vitesse de 130 km il est donc nécessaire de renouveler cette installation en caténaire de type R. Ceci sera fait dans le cadre du programme de maintien de la substance et réalisé en 2020 en synergie avec le clustering du pont sur la Singine.

1.8.2.2. Guin – Schmitten

Ce tronçon de 4,1 km est encore équipé d'une caténaire de type N celle-ci ne permet pas une vitesse supérieure à 125 km/h et elle a une section électrique insuffisante.

Dans le futur, la vitesse de ligne sera de 115 km/h sur le premier tiers du tronçon et de 130 km/h sur le reste

Au vu de la vétusté de cette installation d'une part et de la faiblesse des constructions ne permettant pas partout l'ajout d'un feeder, la reconstruction de la caténaire de ce tronçon est donc nécessaire pour la circulation des compositions WAKO. Cette caténaire aurait de toute façon dû être renouvelée à l'horizon 2028-2030.

Ce renouvellement sera réalisé en 2020 en synergie avec le clustering du pont sur la Singine.

1.8.2.3. Gare de Flamatt

Cette gare d'une longueur de 1050 m au niveau de la ligne de contact est équipée d'une caténaire type N, la vitesse prévue ne dépassera pas 125 km/h de ce fait il n'y a pas lieu de renouveler cette installation dans le cadre de ce projet. Les lignes détournée assurant le transit de l'énergie sont jumelées, donc suffisantes pour le passage du courant nécessaire aux trains WAKO.

1.8.2.4. Pleine voie Flamatt – Thörishaus

Ce tronçon de 2,4 km est encore équipé d'une caténaire de type N celle-ci ne permet pas une vitesse supérieure à 125 km/h et elle a une section électrique insuffisante. Cette installation devra être renouvelée d'ici à 2030 pour l'instant vu que la vitesse ne dépassera pas 125 km/h un renforcement des sections électriques par l'ajout d'un feeder en pleine voie est suffisant pour la circulation des compositions WAKO. Toutefois, une partie des mâts actuels ne permettent pas l'augmentation de la charge mécanique due à un conducteur supplémentaire ce qui impose un renouvellement de l'installation.

1.8.2.5. Bümpliz – Weyermannshaus

Cette pleine voie de 1200 m actuellement en caténaire N sera parcourue à 160 km/h dans le futur ce qui nécessite le renouvellement de cette installation en caténaire de type R. Ce renouvellement sera réalisé dans le cadre des travaux de Berne ouest.

1.9. Environnement

1.9.1. Résumé des impacts environnementaux

La matrice ci-après présente les impacts attendus pour les phases de construction et d'exploitation par domaine environnemental :

Domaine	Phase de projet	
	Phase de construction	Phase d'exploitation
Nature et paysage	-	-
Forêt	-	-
Protection des eaux souterraines	●	-
Evacuation des eaux usées	-	●
Eaux de surface et écosystèmes aquatiques	-	-
Accidents majeurs	-	-
Sites contaminés	-	-
Déchets	●	-
Protection du sol	-	-
Air	-	-
Rayonnement non ionisant	-	-
Bruit	-	-
Vibrations et sons solidiens	-	●
Protection du patrimoine et des sites construits, archéologie	-	-

Légende: - Pas ou peu d'impact
 ● Impact significatif

1.9.2. Documents de projet

L'ensemble des documents et des plans du projet se trouvent dans le dossier présenté.

1.9.3. Justification / description du projet

Le programme de développement stratégique de la Confédération (PRODES) prévoit pour le réseau national une série de mesures d'infrastructures sous le titre "aménagement 2025". Le projet WAKO fait partie de ces aménagements et permettra de relier Lausanne à Berne en moins d'une heure, ce qui permettra un horaire cadencé et améliorera la situation pour la région entre Lausanne et Genève.

Le projet comprend des adaptations sur le tracé actuel (principalement des corrections de courbe) afin de permettre aux nouveaux trains de circuler plus vite dans les courbes. De plus, cette vitesse supérieure nécessite une infrastructure adéquate. Une nouvelle planification du programme des FBE standard permet d'atteindre d'ici la fin du projet cette infrastructure.

Eléments de projet susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement :

- Travaux sur les rails, traverses et sous-couches
- Nouveaux et modifications des drainages de la voie
- Augmentation de la vitesse des trains
- Adaptation du tracé actuel avec des ripages d'environ 20 cm dans les courbes

1.9.4. Procédure

Les coûts devisés du projet WAKO dans sa globalité dépassent 40 millions de CHF (sans les installations de sécurité). Par conséquent et pour autant qu'il soit considéré dans son ensemble, il est soumis à étude d'impact sur l'environnement selon l'OEIE.

Cependant, au vu des délais de réalisation et de superficie géographique (environ 100 km de long), il est prévu de réaliser le projet par section, et de procéder donc à des procédures d'approbation des plans distinctes. L'allotissement de ces sections n'est encore pas défini et permettra d'avoir une vision plus nette des procédures à suivre. La plupart des travaux à réaliser peuvent être considérés comme des FBE standard (projet de renouvellement simple et sans envergure). La nouveauté dans ce projet est de considérer avec une vue d'ensemble la totalité des FBE effectuées sur un tracé, de les coordonner dans l'espace et le temps, ce qui ne se fait pas généralement et de les regrouper en lots.

Pour la gestion des impacts environnementaux, la procédure doit encore être clarifiée. Actuellement il existe deux variantes :

Variante 1 :

- Réalisation d'un rapport d'enquête préliminaire global, portant sur l'ensemble du tronçon et d'un cahier des charges ;
- Dans chacun des lots de Wako, réalisation de notices ou de rapports d'impact environnementaux selon la procédure appropriée au lot et à son montant.
- Pour les projets ne dépendants pas directement de WAKO (FBE hors projet WAKO), la procédure sera conduite en fonction de l'objet et du lieu (pas de PAP, PAP simplifiée ou ordinaire).

Cette manière de faire a déjà été expérimentée dans le cadre de Léman 2030 pour la région de Lausanne – Renens. Un rapport d'enquête préliminaire a été réalisé par exemple pour les projets Gare de Lausanne, 4^{ème} voie et saut-de-mouton, et un autre REP a été réalisé pour la gare de Renens, tête Est et la passerelle Rayon vert. Par la suite, des rapports ou des notices d'impact indépendantes ont été réalisés pour les différentes PAP, qui comprenaient également des dossiers traités par d'autres acteurs que les CFF. Cela montre qu'il est donc possible et souhaitable de grouper dans une première partie les impacts de plusieurs projets puis de reprendre et affiner les impacts environnementaux dans le cadre des différentes procédures PAP.

Cette procédure permet à la fois de conserver une vue d'ensemble sur tout le tracé et d'effectuer une première étape commune, où seront notamment fixées les bases du projet, les exigences à respecter, les éventuels impacts globaux du projet etc, et de faire par la suite une étude détaillée locale pour chacune des procédures PAP. Ainsi, il ne s'agit pas de découper le projet pour ne considérer les impacts environnementaux que localement sans vue d'ensemble,

et les impacts locaux détaillés peuvent être étudiés simultanément avec chaque dossier (les procédures PAP seront étalées sur plusieurs années).

Variante 2 :

Réalisation d'un rapport d'impact comprenant une partie globale et une analyse locale pour chacun des lot mis à l'enquête. La partie globale sera la même pour tout les lots. L'analyse locale est spécifique au lot mis à l'enquête. Aucun rapport d'enquête préliminaire ni cahier des charges ne sont réalisés en amont. La variante deux a été conseillée par l'OFT lors de la séance KoSi OFT-CFF du 9 septembre 2015.

1.9.5. Données de trafic

Le présent projet prévoit une mise en service entre 2025 et 2030. Par conséquent, les données de trafic utilisées pour l'état final correspondent aux prévisions 2025. Les données concernant le nombre et le type de trains sont reprises des tables fournies par ZZPT (Application pour la planification du nombre de trains) et sont datées du 17.01.2012.

Pour l'état actuel, les données de l'année 2015, également fournies par ZZPT sont utilisées.

Pour les 4 tronçons suivants, une comparaison des données actuelles (2015) et futures (2025) est présentée :

Données de trafic 2015 et 2025							
Tronçon	Etat	Trains marchandises (par jour)		Trains voyageurs (par jour)		Total trains (par jour)	Augmen- tation en %
		Jour	Nuit	Jour	Nuit		
Bossière - Grand- vaux	Actuel (2015)	15.27	9.79	186.03	22.41	233.49	-
	Futur (STEP 2025)	15.72	10.18	191.06	23.09	240.04	1.8%
Oron – Vauderens	Actuel (2015)	14.13	9.14	135.4	18.6	177.27	-
	Futur (STEP 2025)	14.59	9.4	135.40	18.60	177.99	0
Romont - Villaz- St-Pierre	Actuel (2015)	9.49	7.89	165.75	18.10	201.24	-
	Futur (STEP 2025)	10.32	8.34	190.52	21.48	233.66	16%
Fribourg - Düdingen	Actuel (2015)	13.93	13.58	159.8	24.2	211.51	-
	Futur (STEP 2025)	14.80	14.16	159.80	24.20	212.96	0.7%
Thörishaus Dorf - Thörishaus	Actuel (2015)	9.13	6.73	224.39	28.32	268.57	-
	Futur (STEP 2025)	9.53	7.06	224.39	28.32	269.30	0.3%

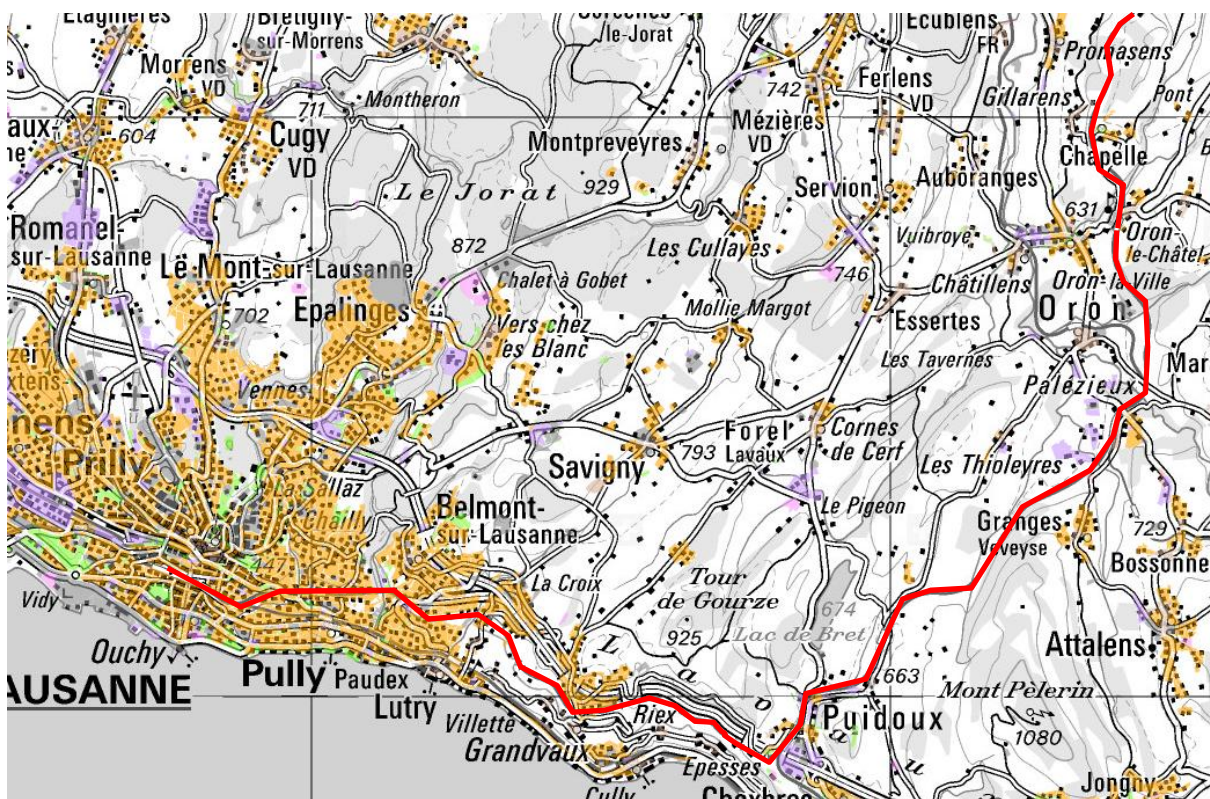
De manière générale, il n'y aura pas d'augmentation significative du trafic entre Lausanne et Berne entre 2015 et 2025, même avec l'introduction de Wako. Les principales augmentations de trafic ont eu lieu avant 2015 sur ce tronçon.

1.9.6. Risques du projet

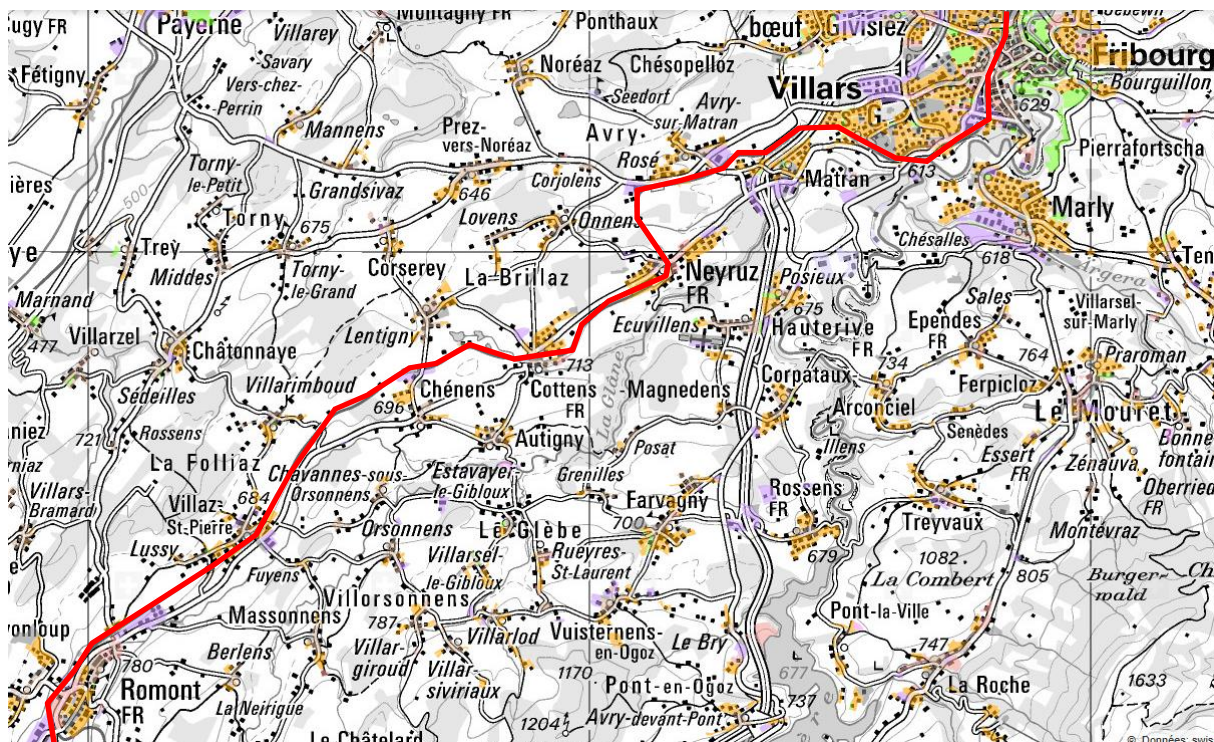
Les risques du projet sont décrits dans le rapport principal.

1.9.7. Description du site et des environs

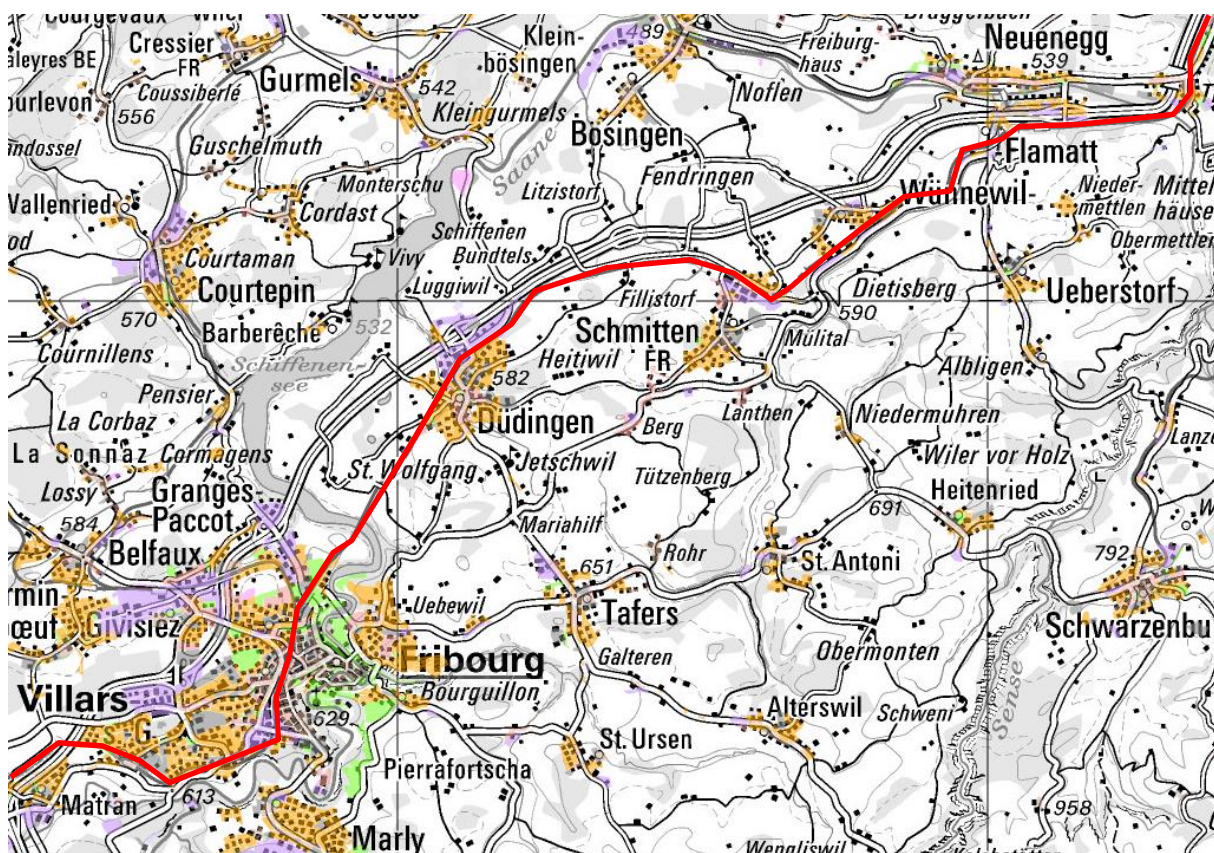
Le projet s'étend sur toute la ligne entre Lausanne et Berne. Contrairement à d'autres tracés au long duquel se sont développés de nombreuses zones d'habitations et de commerce, le tracé entre Lausanne et Berne traverse une zone qui n'est pas très densément construite. La grande partie du tracé se situe dans des zones de campagne. La partie entre Lausanne et Puidoux-Chexbres traverse le Lavaux et ses vignes, puis le tracé traverse de nombreuses zones agricoles jusqu'aux alentours de Berne, avec quelques passages dans des zones de villes comme Palézieux, Romont ou Fribourg, ainsi que le long de zones de village.



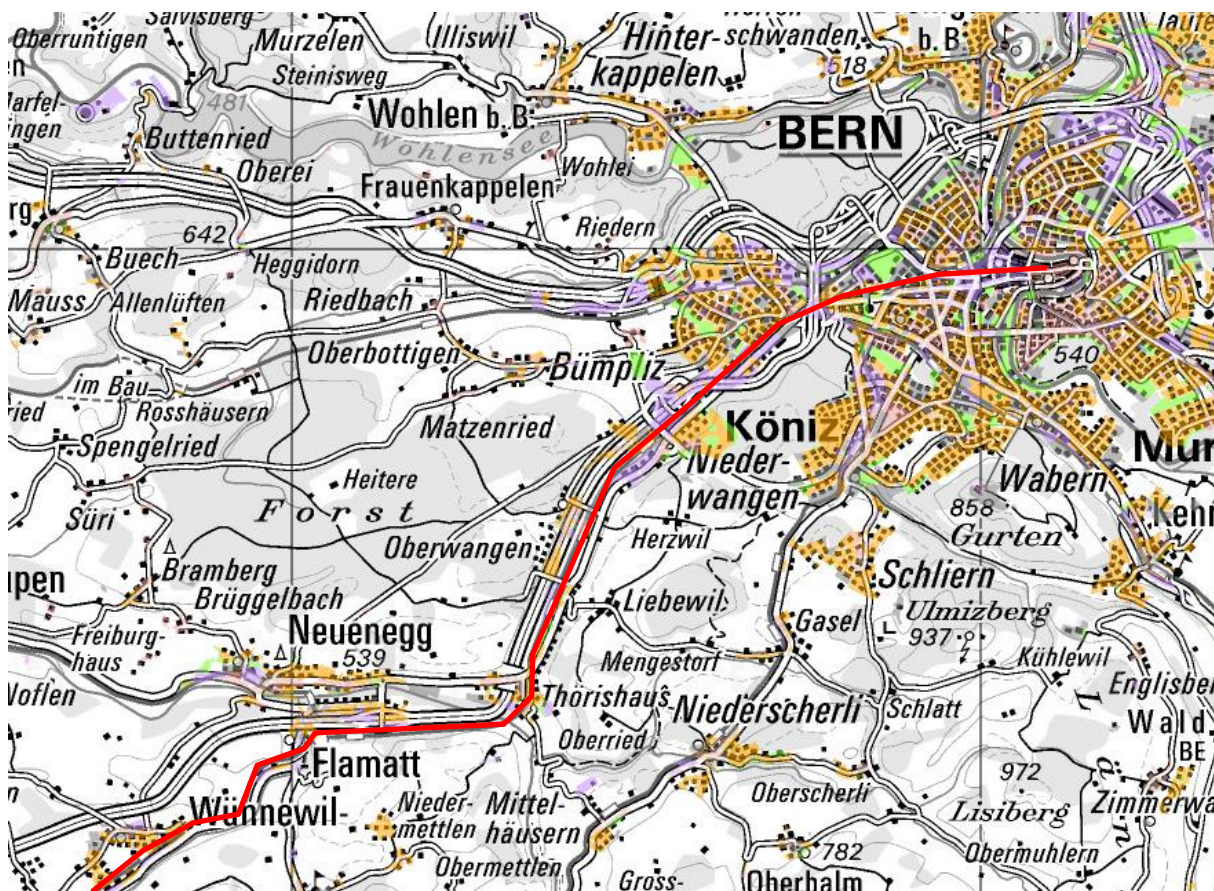
Tracé entre Lausanne et Oron : zones densément construites autour de Lausanne, zones industrielles à Puidoux et quelques zones d'habitations le long du tracé.



Tracé entre Romont et Fribourg : zones construites autour de Fribourg, quelques zones d'habitations le long du tracé, sinon principalement des zones agricoles ou forestières.



Tracé entre Fribourg et Flamatt : zones construites autour de Fribourg et à Düdingen, quelques zones d'habitations le long du tracé, sinon principalement des zones agricoles ou forestières.



Tracé entre Flamatt et Berne : zone d'agglomération de Berne dominante, zones industrielles / autoroute entre les zones habitées.

1.9.8. Analyse environnementale

Le chapitre environnement concerne les investigations environnementales de l'étude préliminaire.

Le but principal de l'analyse des conflits environnementaux est la détermination et l'évaluation de tous les impacts environnementaux significatifs et/ou ayant un impact sur les coûts. D'un point de vue de la protection de l'environnement, la faisabilité du projet doit être prouvée et les risques du projet doivent être identifiés.

La « liste de contrôle environnement pour les installations ferroviaire non soumises à l'EIE » constitue la base pour les investigations environnementales (OFT/OFEV octobre 2010) et le manuel EIE (OFEV 2009).

Pour la protection contre les immissions, les aspects généraux suivants sont à prendre en considération :

- Indépendamment des nuisances existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. (LPE art. 11).

Les installations qui causent des immissions nuisibles ou incommodantes seront assainies (LPE art. 16). La transformation ou l'agrandissement d'une installation sujette à assainissement est subordonnée à l'exécution simultanée de celui-ci. (LPE art. 18).

1.9.9. Domaines non significatifs

Domaine	Justification
Paysage et nature, faune, flore, protection du patrimoine	Les travaux ont lieu sur le tracé des lignes ferroviaires existantes et les éventuels déplacements de voies ne sont que de 20 cm environ. Les impacts du projet sur des zones importantes du point de vue du paysage, de la nature ou du patrimoine ne sont ainsi pas significatifs par rapport à la situation actuelle. Il ne faut pas s'attendre à devoir prendre des mesures. Cela devra toutefois être vérifié dans les phases ultérieures.
Forêt	Le projet touche le domaine des voies actuelles et n'a pas d'impact sur les surfaces forestières à proximité. Des dérogations pour des travaux dans la limite inconstructible autour des forêts devront probablement être demandées pour effectuer les travaux sur le domaine ferroviaire (les limites inconstructibles dans les cantons de Vaud, de Fribourg et de Berne sont respectivement de 10m, 20m et 30m).
Eaux superficielles	Le projet ne met pas en danger des eaux superficielles. Sur le périmètre du projet, quelques cours d'eau croisent le tracé ferroviaire. Les travaux aux abords des cours d'eau devront inclure les mesures standard de protection des eaux superficielles.
Prévention contre les accidents majeurs	La ligne 250 entre Berne et Lausanne n'est pas une ligne soumise à l'OPAM depuis la dernière révision (01.06.2015). Des mesures propres à la prévention contre les accidents majeurs ne sont donc pas nécessaires.
Sol	Au stade actuel du projet, il est considéré que les travaux sont effectués en grande majorité sans emprise en dehors des installations ferroviaires. Il n'y a ainsi pas ou peu d'emprises sur des sols naturels. Si des pistes ou places d'installation de chantier étaient nécessaires, les mesures adéquates pour protéger les sols seront prises.
Air	Ce domaine n'est pas pertinent car il n'y a pas de modification induite par le projet, sauf les impacts normaux d'un chantier ferroviaire.
Monuments, sites archéo., sites construits	Le projet WAKO prévoit des travaux sur le tracé ferroviaire actuel avec des ripages faibles (environ 20 cm). Ainsi, le projet n'est pas de nature à impacter des monuments ou des sites construits, ni d'impacter des sites archéologiques.
Risques naturels	Des zones de dangers naturels, principalement d'instabilité de terrain et de crues, se trouvent sur le tracé du projet. Cependant, le projet ne provoque pas d'augmentation notable des risques par rapport à la situation existante.

1.9.10. Domaines significatifs

1.9.10.1. Protection des eaux

Certains tronçons du projet sont situés en zones S2 ou S3 de protection des eaux souterraines. Il s'agit des tronçons listés ci-après :

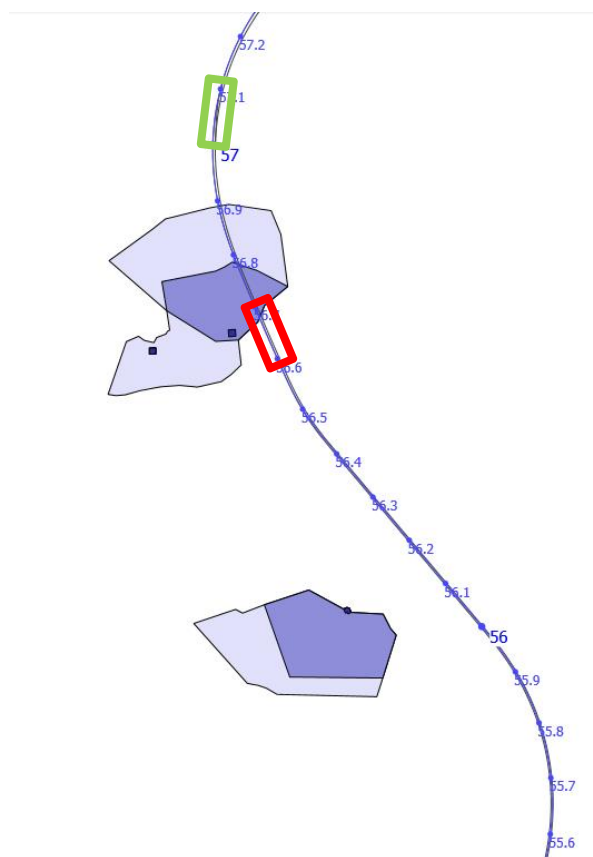
Km	Longueur concernée [m]	Zone de protection des eaux
10.300 – 10.575	275	S3
10.905 – 11.095	190	S2
34.355 – 34.880	525	S3
34.880 – 36.000	1'120	S3 à environ 5m
49.100 – 49.300	200	S3 à environ 10m
56.670 – 56.790	120	S2
56.790 – 57.000	210	S3

Ces zones de protections des eaux ont été reportées sur le plan synoptique général (annexe 1)

En zone S1 de protection des eaux, aucun ouvrage ferroviaire n'est autorisé. En zone S2, de nouvelles installations ne sont pas autorisées, mais des exceptions sont possibles. En zone S3, des ouvrages sont possibles sous certaines conditions.

Les dispositions légales seront respectées dans le cadre de ce projet. En particulier, tous les travaux en zone S2 bénéficieront d'une surveillance accrue, et des mesures seront prises afin d'éviter toute atteinte au captage. Le dispositif de surveillance et d'alarme sera élaboré d'entente avec l'autorité cantonale.

Parmi les zones de protection S2 et S3, la zone près de Rosé devra faire l'objet d'une attention particulière. En effet, la diagonale actuelle (km 57.000 à 57.110) est prévue d'être déplacée vers le km 56.600 à 56.710, soit partiellement dans la zone S2. Cet emplacement a été déterminé sur la base de la géométrie de la ligne, qui fait sur une courte distance deux courbes importantes. Les phases suivantes du projet devront donc prendre cet aspect en compte et vérifier s'il est possible de déplacer la diagonale en dehors de la zone de protection ou quelles sont les mesures à mettre en place pour protéger le captage.



La zone entre Neyruz et Rosé est en courbe importante. La diagonale actuelle (emplacement indiqué en vert) serait déplacée vers la zone de ligne droite (indiqué en rouge).

1.9.10.2. Evacuation des eaux de voies

Le renouvellement de l'infrastructure et le système de drainage doivent être conformes aux dispositions légales en matière de protection des eaux.

Les standards actuels d'assainissement de l'infrastructure prévoient la mise en place d'une couche d'étanchéité qui empêche les infiltrations d'eau dans l'infrastructure et le terrain sous-jacent. En zone S de protection des eaux, l'infiltration des eaux provenant des voies de chemin de fer est en principe interdite. Les eaux pluviales ne peuvent donc pas être infiltrées le long des voies et doivent être récoltées et acheminées vers un point d'évacuation conforme en dehors des zones S. Des conduites d'évacuation des eaux devront donc être mises en place pour les tronçons indiqués dans le tableau du chapitre « Protection des eaux ».

De plus, si une infiltration diffuse (le long de la voie par exemple) n'est pas possible, des bassins d'infiltration ou de rétention pourraient être nécessaires. Le coût d'un bassin peut être estimé à environ 250 000 CHF. Les surcoûts liés à l'acquisition de terrain ne sont pas inclus.

Des travaux sur l'infrastructure et sur le système d'évacuation des eaux sont prévus. En considérant le projet dans sa globalité, il s'agit d'une modification importante selon la Directive « Evacuation des eaux des installations ferroviaires ». C'est pourquoi une mise en conformité de l'évacuation des eaux devra être faite sur les tronçons dont l'infrastructure est touchée.

Les installations ferroviaires présenteront une infrastructure étanche. Les eaux de pluie ne pourront donc pas s'infiltrer de manière diffuse dans le sol. La priorité pour évacuer ces eaux doit être donnée à l'infiltration à travers une couche de sol végétalisé. Les types d'évacuation

possibles sont les suivants : infiltration par le talus, dans un fossé végétalisé, dans un fossé filtrant, déversement dans les eaux superficielles, ou déversement dans les égouts.

Classe de pollution des eaux

L'altitude du tronçon est comprise entre 450 et 700 m environ. A part le tronçon entre Lausanne et La Conversion, tout le tronçon est à plus de 500m d'altitude.

Le volume de trafic brut par jour et par voie en 2025 est compris entre 37'000 et 47'000 tonnes. Selon la Directive « Evacuation des eaux des installations ferroviaires », la classe de pollution est déterminée à l'aide du tableau ci-dessous. Les secteurs qui ont une banquette empêchant la végétation présentent donc une classe de pollution faible. Les autres secteurs présentent une classe de pollution moyenne, sauf les secteurs des gares situées à moins de 500m d'altitude. Sur les remblais avec infiltration par le talus, la classe de pollution diminue d'un degré.

Tracé en pleine voie		Volume du trafic [tonnage brut/(jour*voie)]			
		< 15'000	15'000 - 30'000	30'000- 60'000	60'000- 100'000
Avec emploi de PPhS	Pas d'emploi de PPhS	faible	faible	faible	faible
	> 1500 m. d'altitude	faible	faible	faible	faible
	> 1000 m. d'altitude, pas de banquette ou banquette empêchant la végétation *	faible	faible	faible	faible
	1000-1500 m. d'altitude	faible	faible	faible	moyenne
	500-1000 m. d'altitude, pas de banquette ou banquette empêchant la végétation*	faible	faible	faible	faible
	500-1000 m. d'altitude	faible	faible	moyenne	moyenne
	< 500 m. d'altitude, pas de banquette ou banquette empêchant la	faible	faible	faible	faible
	< 500 m. d'altitude	faible	moyenne	moyenne	élevée
Secteurs de gares		Volume du trafic [tonnage brut/(jour*voie)]			
		< 15'000	15'000 - 30'000	30'000- 60'000	60'000- 100'000
Avec emploi de PPhS	Pas d'emploi de PPhS	faible	faible	faible	faible
	> 1500 m. d'altitude	faible	faible	faible	moyenne
	> 1000 m. d'altitude, banquette empêchant la végétation*	faible	faible	faible	faible
	1000-1500 m. d'altitude	faible	faible	moyenne	moyenne
	500-1000 m. d'altitude banquette empêchant la végétation*	faible	faible	faible	faible
	500-1000 m. d'altitude	faible	moyenne	moyenne	moyenne
	< 500 m. d'altitude, banquette empêchant la végétation*	faible	faible	faible	moyenne
	< 500 m. d'altitude	moyenne	moyenne	élevée	élevée

* conformément à [8], (pas de banquette dans la zone des quais)

Les exigences liées à l'infiltration sont synthétisées dans le tableau suivant :

Zone de protection ou secteur	Classe de pollution eaux polluées	Structure du sol (cf. annexe 5)	Infiltration
S3 ³	faible	optimale	autorisée
S3	moyenne, élevée	-	non autorisée évacuation hors S3
A _u	faible	minimale	autorisée
A _u	moyenne, élevée	moyenne	autorisée
autre secteur	faible, moyenne	minimale	autorisée
autre secteur	élevée	moyenne	autorisée

Tab. 3.2: infiltration par le talus ou par le fossé végétalisé - exigences en matière de structure du sol

1.9.10.3. Sites pollués et déchets

➤ Sites pollués

Plusieurs sites pollués répertoriés dans le cadastre des CFF se situent dans le périmètre des voies de chemin de fer touchées par le projet ou à proximité de celles-ci.

Au stade actuel du projet, il est considéré que le périmètre du projet se limite à un déplacement d'environ 20 cm des voies actuelles. Ainsi seuls les sites suivants au droit des voies ont été retenus (indication des surfaces imprécise selon le cadastre) :

Site	Km	Classification	Remarques
U7687	79.95 (sur une longueur d'env. 150 m)	Non pollué	Début d'incendie (Verladegleis, Umschlagplatz)
U7686	80.30 (sur une longueur d'env. 160 m)	Non pollué	Lieu d'intervention des pompiers (Verladegleis, Umschlagplatz)

Il s'agit de deux sites d'accidents qui sont classés comme étant non pollué. Il ne peut cependant être exclu que localement des matériaux pollués soient tout de même présents. Etant donné qu'aucune modification n'est prévue sur ces deux tronçons selon l'état actuel du projet, aucun coût supplémentaire n'a été pris en compte.

Concernant les autres sites pollués recensés à proximité des voies, aucune influence directe de ceux-ci n'est attendue. La profondeur des excavations sera au maximum de 60 cm sous les traverses. Il n'y a donc à priori pas de risques de rencontrer au droit des voies une éventuelle pollution provenant de la mobilisation de polluants d'un site pollué à proximité.

Dans le cas des zones de gare, l'expérience montre que des pollutions anciennes et non répertoriées peuvent être mises à jour lors de travaux d'excavation. Cet aspect devra être pris en compte dans l'évaluation des coûts d'élimination des déchets.

➤ Déchets

Les déchets proviendront en majorité de la modification du plan des voies (rails, traverses, ballast, sous-couche), mais également des travaux de renouvellement de la ligne de contact et des câbles.

D'autres déchets peuvent être produits lors de la construction et le remplacement d'installations. Les types de déchets et leur quantité sont à estimer par chaque service pour les installations supprimées ou modifiées.

Le tableau suivant contient les quantités de déchets attendus pour les travaux de voie. Ne sont donc pas compris les matériaux pour le renouvellement de la ligne de contact ou pour les câbles.

Matériaux	Quantité (en m ³)	Elimination
Ballast (superstructure) pleines voies	220'630	Ces matériaux seront recyclés ou évacués selon la Directive sur les déblais de voie.
Fondation (infrastructure)	95'510	Ces matériaux seront recyclés ou évacués selon la Directive sur les déblais de voie.

Ballast (superstructure) voies et AV de débord	15'000 dont 44% provenant d'AV	Ces matériaux seront recyclés ou évacués selon la Directive sur les déblais de voie.
Fondation (infrastructure) voies et AV de débord	15'000 dont 44% provenant d'AV	Ces matériaux seront recyclés ou évacués selon la Directive sur les déblais de voie.
Excavation (drainage)	96'920	Les matériaux qui ne pourront pas être valorisés sur place seront évacués dans une décharge pour matériaux non pollués.
Matériaux terreux contaminés par des plantes envahissantes	Petites quantités	Les matériaux terreux contenant des plantes envahissantes seront éliminés en tenant compte des spécificités de l'espèce (p.ex. par incinération)

Au vu des quantités prévues, il s'agira de prendre en compte cet aspect suffisamment tôt et de planifier les décharges qui peuvent accueillir de telles quantités de déchets. Ces déchets devront être évacués sur une période d'environ 8 ans et se situent sur 3 cantons, ce qui permet un étalement dans le temps et l'espace. Des contacts devront cependant être pris avec les cantons et les décharges pour anticiper et éviter d'avoir à évacuer ces déchets sur de longues distances, ce qui impliquerait des surcoûts pour le transport.

Concernant les coûts d'élimination des déchets, une estimation des surcoûts pour les déblais de voie et matériaux d'excavation peut être formulée :

Degré de pollution	Canal d'évacuation	Coûts ² [CHF/m ³]	Déblais de voie	Matériaux d'excavation
Non pollué (< U)	Mandataire CFF (pour ballast) ou DME (pour matériaux d'excavation)	20.-	35%	70%
Toléré (< T)	Mandataire CFF (pour ballast)	35.-	40%	-
Compris entre non pollué (< U) et toléré (< T)	DCMI	50.-	-	20%
Pollué (> T, < VL DCMI)	DCMI	50.-	15%	
Pollué (> VL DCMI)	Décharge bioactive	280.-	10%	10%

² Coût de prise en charge des déchets, sans transport (= taxe de décharge).

La gestion des déchets se fera en adéquation avec les règlements et directives applicables. Les volumes et le canal d'élimination des déchets seront précisés dans un plan de gestion des déchets établi conformément à la norme SIA 430 avant le début des travaux. Au terme du chantier, le plan de gestion des déchets sera complété avec les quantités effectives de déchets.

1.9.10.4. Rayonnements non ionisants

Le présent projet ne représente pas une nouvelle installation au sens de l'art. 3, al. 2 de l'ORNI, ni une modification de l'installation au sens du chiffre 52, al. 2 de l'annexe 1 de l'ORNI.

En effet le projet consiste à ne riper que faiblement certains tronçons de voies ; aucune extension du nombre de voie ou de prolongation de voie électrifiée n'est prévu par le projet.

Dès lors, en tant qu'ancienne installation et conformément au chiffre 56 de l'annexe 1 de l'ORNI, l'installation doit être munie d'un conducteur de retour lorsque la densité de flux magnétique dépasse la valeur limite de l'installation dans les lieux à utilisation sensible. Cette exigence sera vérifiée au moment du projet de construction, et adaptée pour chaque section de projet.

1.9.10.5. Bruit

L'augmentation de la vitesse des trains (uniquement les trains FV-Dosto avec la technologie WAKO) va générer des émissions sonores plus élevées. Le projet WAKO n'a pas d'impact sur la fréquence des trains et la composition du trafic ferroviaire. Les éventuels rapprochements des voies vers les habitations (env. 20 cm) sont négligeables.

La ligne Lausanne-Berne a été assainie dans le cadre du projet d'assainissement des lignes de chemins de fer. Certaines communes ont été équipées de parois anti-bruit (PAB) et de fenêtres anti-bruit, alors que dans les autres communes, seule la pose de fenêtres anti-bruit a été nécessaire.

Pour le programme d'assainissement ordinaire du bruit, l'OFT a calculé pour chaque commune les émissions de bruit prévues pour 2015 et a assaini par rapport à ces valeurs d'émission. Pour les projets ultérieurs, ces émissions peuvent être reprises comme émissions de l'état actuel, qui sont à comparer avec les émissions projetées pour la fin du projet. Si aucune augmentation notable n'est constatée, des mesures particulières ne sont pas nécessaires. Par conséquent, le gestionnaire du réseau peut modifier la composition du trafic ou le nombre et la vitesse des trains sans mesures acoustiques tant que les émissions considérées pour l'assainissement ne sont pas notablement dépassées. Par augmentation notable, on entend une augmentation du niveau de $L_{r,e}$ de plus de 1 dB(A). Si des mesures d'assainissement ont déjà été réalisées, comme des parois anti-bruit, aucune mesure constructive sur le chemin de propagation n'est à prévoir sur ces tronçons. En ce qui concerne les mesures d'isolation sur les bâtiments (fenêtres antibruit), l'augmentation des immissions sonores peut engendrer des dépassements supplémentaires des VLI (valeurs limites d'immissions) ou VA (valeurs d'alarme) au niveau de certaines façades des bâtiments par rapport au projet d'assainissement ordinaire. Pour les bâtiments concernés, une évaluation succincte du nombre de fenêtres supplémentaires doit être réalisée.

Etant donné la longueur du tronçon à étudier et afin de réduire la quantité de données à obtenir et à traiter, la méthodologie suivante a été appliquée pour l'évaluation des impacts pour le domaine du bruit :

- Division du parcours en tronçons homogènes du point de vue de la composition des trains (trains voyageurs et marchandises)
- Pour chaque tronçon homogène, calcul des émissions pour un segment, avec les vitesses standard et avec les vitesses WAKO projetées (état 2025)
- Comparaison des émissions du segment avec les émissions actuelles (provenant du programme d'assainissement ordinaire EPlan 2015).
- Mise en évidence des segments dont l'augmentation est de plus de 1.0 dB(A)

Le tableau suivant présente les résultats :

Tronçon avec composition des trains homogène	Segment	Vitesses WAKO - R - A	Lr, e EPlan 2015		Lr, e 2025 sans WAKO		Lr, e 2025 avec WAKO		Diff. Lr, e (Lr, e WAKO – Eplan)	
			jour	nuit	jour	nuit	jour	nuit	jour	nuit
Lausanne - Puidoux	Bossière-Grandvaux (6500-8130)	120 - 100 - 90	72.6	67.6	70.7	63.7	71.5	64.0	-1.1	-3.6
Puidoux - Palézieux	Moreillon-Palézieux (18090 – 20114)	115 – 115 - 105	72.4	67.7	72.8	65.3	72.8	65.3	+0.4	-2.4
Palézieux - Romont	Oron-Vauderens (24906 – 30174)	100 – 95 - 90	70.5	65.4	69.1	62.0	69.3	62.1	-1.2	-3.3
Romont - Fribourg	Villaz-St-Pierre-Chénens (46919 – 48907)	160 – 130 - 120	75.0	67.9	74.0	65.5	75.1	66.1	+0.1	-1.8
	(44641 – 45469)	160 – 140 - 120	74.8	67.8	75.1	66.2	75.7	66.6	+0.9	-1.2
Fribourg-Düdingen	Fribourg-Düdingen (69067 – 71712)	130 – 110 - 100	72.8	66.0	71.6	66.3	72.4	66.6	-0.4	+0.6
Düdingen-Schmitten	Düdingen-Schmitten (74220 – 75680)	130 – 110 - 95	72.7	66.0	71.2	63.6	72.1	64.0	-0.6	-2.0
Schmitten-Flamatt	Schmitten-Wünnewil (78610 – 80343)	115 – 110 - 100	72.3	65.8	71.2	63.3	71.4	63.4	-0.9	-2.4
Flamatt-Thörishaus Station	Thörishaus Dorf-Thörishaus Station (86881 - 87330)	115 – 110 - 105	72.7	66.9	72.1	64.4	72.3	64.5	-0.4	-2.4
	(87330 – 87805)	160 – 110 - 105	73.7	67.4	72.1	64.4	74.2	65.6	+0.5	-1.8
Thörishaus Station-Bern Bümpliz Süd	Thörishaus Station-Oberwangen (88198 – 89371)	160 – 140 - 120	76.6	69.1	75.7	67.4	76.2	67.8	-0.4	-1.3

Les résultats ci-dessus montrent que sur les 9 tronçons étudiés, aucun ne présente une augmentation de plus de 1 dB(A) et la plupart présente des diminutions notables (jusqu'à 3.6 dB !) par rapport à l'état 2015. L'amélioration du matériel roulant et l'interdiction des trains

bruyants décidée début 2014 contribuent à réduire les émissions de bruit, malgré un trafic plus dense et des vitesses plus élevées.

Par conséquent, des mesures de protection contre le bruit ne seront selon toute vraisemblance pas nécessaires pour ce projet.

1.9.10.6. Vibrations / sons solidiens

➤ Bases légales

Indépendamment des nuisances existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. (LPE, art. 11)

Les installations qui ne satisfont pas aux prescriptions de la présente loi et aux dispositions d'autres lois fédérales qui s'appliquent à la protection de l'environnement seront assainies. (LPE, art. 16)

La transformation ou l'agrandissement d'une installation sujette à assainissement est subordonnée à l'exécution simultanée de celui-ci. (LPE, art. 18)

L'OFT et l'OFEV ont édicté une directive qui régit l'évaluation des vibrations et du son solidien près des installations ferroviaires (EVBSR, 1999). Pour la transformation d'installations existantes, les valeurs limites suivantes s'appliquent :

- Jour / nuit: Jour : 06 à 22 heures; nuit : 22 à 06 heures

VIBRATIONS	Valeurs limites	
Facteur KBFTr	Ar	
Zones	Jour	Nuit
Zones d'habitations, zones d'intérêt public	0.10	0.07
Zones mixtes, centre-ville, zones de village, zones agricoles	0.15	0.10

SON SOLIDIEN	Valeurs indicatives	
Leq du niveau sonore à l'intérieur du local en dB(A)	d'immissions IRW_{KS}	
Zones	Jour	Nuit
	16 h. L_{eq}	1 h. L_{eq}
Zones d'habitations, zones d'intérêt public	40	30
Zones mixtes, centre-ville, zones de village, zones agricoles	45	35

➤ Evaluation

De même que pour le bruit, un calcul exact pour chaque tronçon n'est pas envisageable pour une longueur de cette étendue lors de l'étude préliminaire. La méthodologie suivante a été appliquée pour relever les points de conflits où des mesures pourraient être nécessaires :

- Reprise de la segmentation du tronçon par type de trafic
- Calcul à l'aide du logiciel Vibra-1 de la distance des habitations à partir de laquelle les valeurs limites sont respectées, pour le trafic et la vitesse maximaux du tronçon.
- Calcul de la distance des habitations à partir de laquelle les valeurs limites sont respectées avec la marge de l'OFEV (50% pour les vibrations, 6 dB pour le son solidien)

A l'aide de quelques simulations avec Vibra-1, nous pouvons affirmer que les différents types de trafic sur cette ligne n'ont que peu d'impact sur les valeurs d'immissions des vibrations et du son solidien. Par conséquent, le trafic entre Thörishaus Dorf et Thörishaus Station a été considéré pour l'année 2025.

Contrairement à la composition du trafic sur la ligne, les différentes vitesses ont un impact significatif sur les valeurs d'immissions. La vitesse maximale a été prise en compte pour définir le couloir dans lequel des habitations pourraient être soumises à des immissions trop élevées.

Les résultats de ces calculs nous donnent les distances ci-après :

	Distance à partir de laquelle les valeurs limites sont respectées, selon Vibra 1 / avec marge de sécurité de l'OFEV.	
	Habitation simple (max. 2 étages)	Immeuble (>2 étages)
Zones d'habitations	16 m / 30 m	12m / 21 m
Zones mixtes	11m / 21 m	8 m / 14 m

➤ Hypothèses

- planchers en béton
- sol meuble
- voie à niveau
- pas d'aiguillage

En deçà de ces distances, aucun dépassement des valeurs limites n'est à attendre. Pour les habitations dans le couloir étendu (avec marge OFEV), des campagnes de mesures devront être effectuées sur place pour vérifier les valeurs d'immissions. Entre les valeurs de vibra-1 et les marges de sécurité, on peut s'attendre à respecter les valeurs limites dans environ 70% des cas. Pour les 30% restants et les habitations à l'intérieur du couloir, il faut s'attendre à devoir prendre des mesures pour limiter les immissions.

Les habitations individuelles n'ont pas été prises en compte pour les zones à conflits.

Les sections de voie où la probabilité est grande d'avoir des dépassements des valeurs limites (groupe d'habitations à l'intérieur du périmètre sans la marge de l'OFEV) s'élèvent à environ 7.4 km pour tout le périmètre d'étude.

Les sections où la probabilité est plutôt faible d'avoir des dépassements de valeurs limites (groupe d'habitation à l'intérieur du périmètre avec la marge de l'OFEV) s'élèvent à environ 15.7 km pour tout le périmètre d'étude.

Ces valeurs correspondent à l'ensemble du tracé sans tenir compte des emplacements où des travaux auront effectivement lieu.

Ces chiffres sont repris du tableau des risques / coûts / mesures. Dans ce tableau, les segments où on peut s'attendre à des dépassements des valeurs limites ont été listés. Si le tronçon concerné fait partie du projet WAKO, alors la probabilité d'occurrence a été définie à 70% si la valeur limite est dépassée et à 30% si la marge imposée par l'OFEV est dépassée. Pour les tronçons qui seront traités dans les FBE, une probabilité de 20% a été définie. Cela ne signifie pas qu'il y a moins de risques de devoir prendre des mesures, mais qu'il y a moins de risques que ce soit le projet WAKO qui doive les payer. Ainsi, les mesures anti-vibratoires seront également réalisées dans le cadre des FBE si elles sont nécessaires, mais les frais liés ne seront probablement pas à charge du projet WAKO.

Mesures de réduction des vibrations et du son solidien : lors d'un dépassement des valeurs limites, la seule mesure actuellement homologuée est la pose d'un tapis sous ballast. Ce tapis sous ballast doit être posé sur une couche bitumineuse et ne peut donc être posée que par moyen de génie civil. D'autres mesures pour diminuer les vibrations et le son solidien sont à l'étude et en phase de test, notamment les semelles sous traverses. Si de telles mesures étaient homologuées, elles permettraient de faire diminuer fortement la charge budgétaire des mesures anti-vibratoires. Une homologation des semelles sous traverse est toujours en cours.

➤ Aiguillages

Dans les zones d'aiguillages, les vibrations se propagent beaucoup plus loin et des mesures sont régulièrement nécessaires. Plusieurs tests ont montré que les semelles sous traverses étaient une solution efficace et beaucoup moins onéreuse que les tapis sous ballast mais elle n'est pas encore homologuée. Pour la présente étude, nous considérons que cette mesure est nécessaire dès que des lieux à usage sensible se trouvent dans un périmètre de 50 m des aiguilles.

- Semelle sous traverses : environ 150.- / mètre linéaire / voie
- Pour un aiguillage à équiper de semelles sous traverse, il faut compter 25'000 CHF.