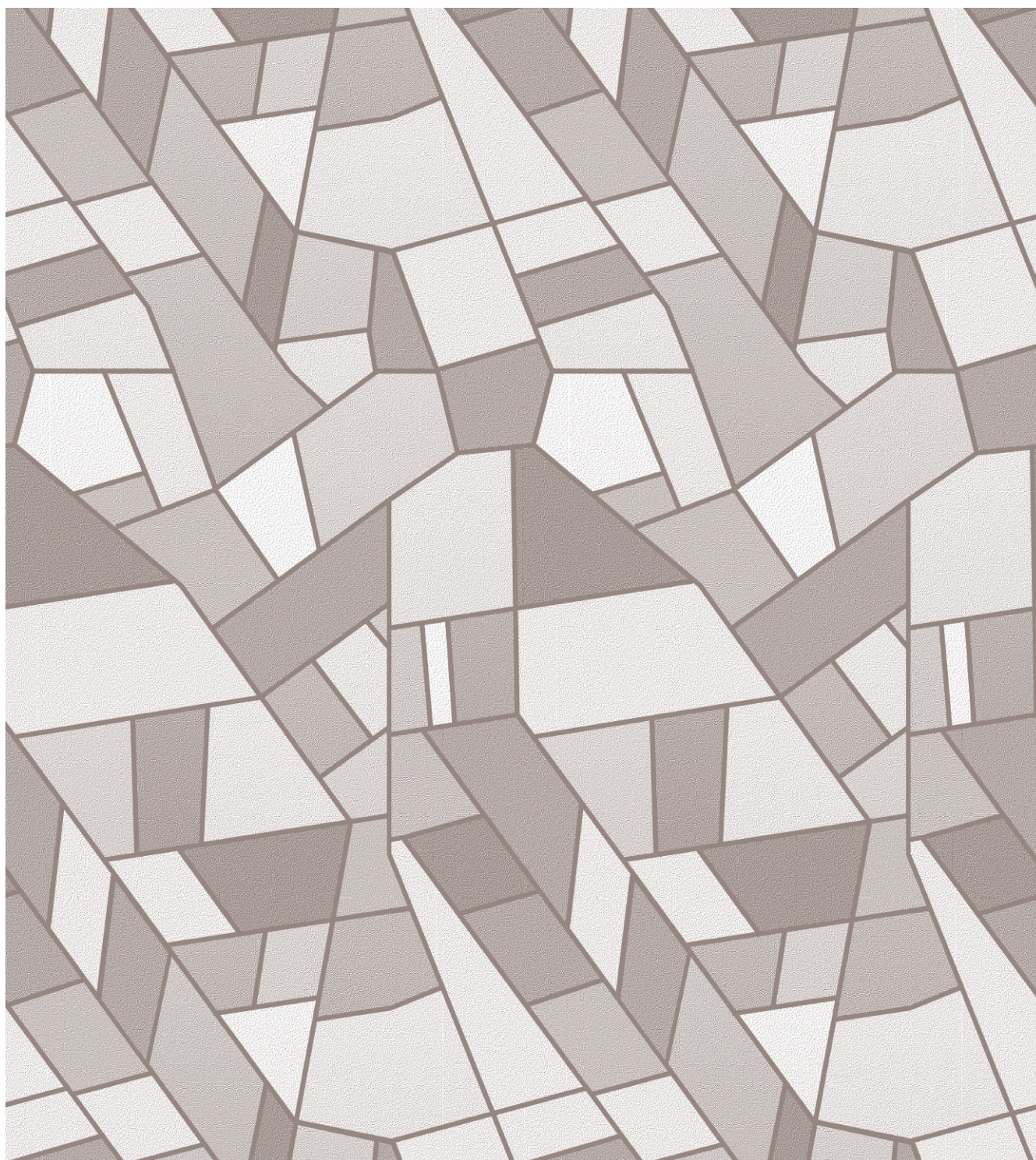


Screening des risques pour la population et l'environnement 2018 – mise à jour

Documentation de mise à jour des paramètres
13 mars 2020



Équipe de projet

Peter Locher
André Zehnder
Simon Ambühl

EBP Suisse SA
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Suisse
Téléphone +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Impression : 10. juin 2020
2020-03-13_Dokumentation_Parameteraktualisierung.docx
Numéro du projet : 219155.00

Table des matières

1.	Situation initiale et objectifs	4
2.	Vue d'ensemble de la mise à jour des paramètres et des adaptations méthodologiques	5
3.	Mise à jour de paramètres locaux	6
3.1	Quantités de marchandises dangereuses	6
3.2	Nombre de trains voyageurs	9
3.3	Vitesse admissible pour les trains de marchandises	11
3.4	Couverture par des détecteurs de boîtes chaudes et de freins bloqués (HFO)	14
3.5	Exposition de riverains et de personnes aux postes de travail	17
3.6	Exposition de voyageurs dans les zones de gares ou de quais	17
3.7	Densité de branchements	19
4.	Mise à jour des paramètres méthodologiques	23
4.1	Introduction	23
4.2	Grandeurs d'influence sur la fréquence de propagations	24
4.2.1	Évolution des accidents ferroviaires et du taux de propagation	24
4.2.2	Influence de la vitesse maximale sur la fréquence de propagation	27
4.2.3	Influence de la densité de branchements sur le taux de propagation	28
4.2.4	Taux de propagation – résumé	30
4.3	Prise en compte de la vitesse maximale pour la substance représentative « chlore »	31
5.	Sources	32

1. Situation initiale et objectifs

L'instrument informatique TgG 2.1 [1] est un instrument important pour déterminer, à l'échelon du rapport succinct, les risques liés au transport de marchandises dangereuses sur voie normale. Le réseau examiné (cf. Figure 1) se compose de 16 810 sections, la majeure partie d'entre elles présentant une longueur de 100 m (appelées sous-éléments pour des raisons historiques). Les vastes données attribuées à chaque sous-élément doivent être mises à jour périodiquement. La dernière mise à jour exhaustive des attributs nécessaires pour déterminer les risques pour la population a eu lieu en 2011 à partir des données les plus récentes disponibles en 2010 (« *Screening 2011* », cf. [2]). Depuis lors, certains attributs importants (quantités de marchandises dangereuses, exposition des riverains et des personnes à leurs postes de travail) ont été mis à jour, la dernière fois en 2016 à partir des données de l'année 2014 (« *Screening 2014* »).

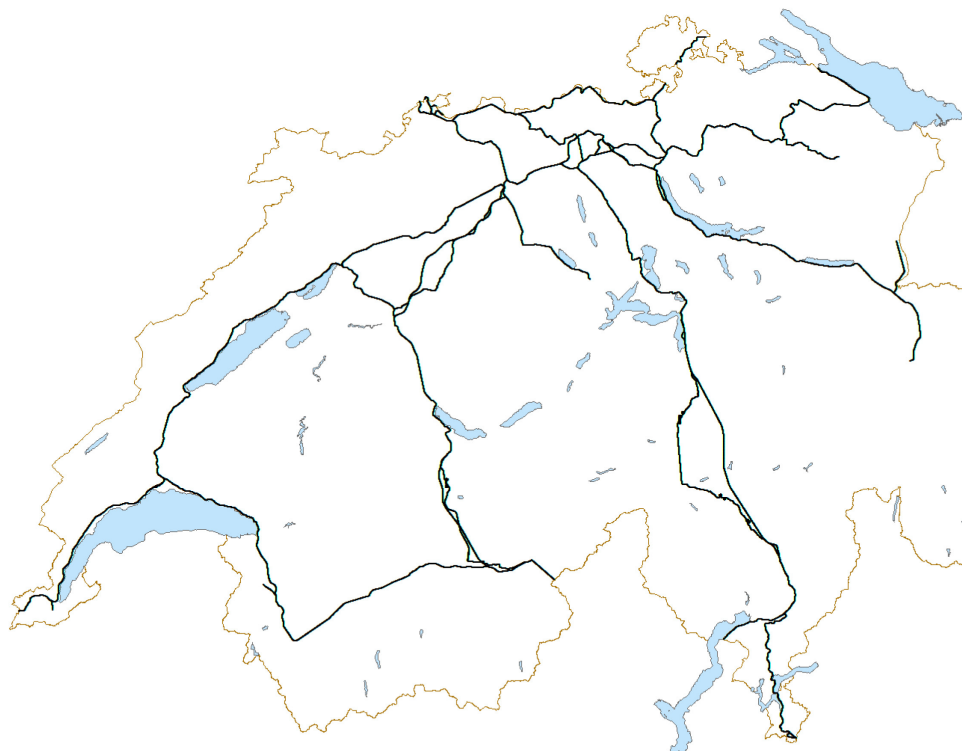


Figure 1 : Réseau actuel de screening (en 2016, l'état de 2011 a été complété par la ligne de base du Saint-Gothard et un tronçon dans le canton d'Argovie).

L'Office fédéral des transports (OFT) s'est fixé comme objectif de mettre à jour en 2019 tous les paramètres locaux et méthodologiques importants pour déterminer les risques pour la population, en se basant sur les données disponibles des années 2018 et 2019 ; ci-après, ce projet est désigné « Mise à jour du *screening* de la population 2018 »¹. L'exécution de ce projet a été

1 Pour déterminer les risques environnementaux, les quantités de marchandises dangereuses ont été adaptées, en sus de quelques paramètres utilisés conjointement. D'autres paramètres

confiée à l'entreprise EBP. Le présent rapport décrit la démarche adoptée et présente quelques résultats issus de la mise à jour des données dans des figures SIG.

2. Vue d'ensemble de la mise à jour des paramètres et des adaptations méthodologiques

Selon les directives de l'OFT, il y a lieu de mettre à jour les paramètres locaux (aussi appelés attributs) sur tous les sous-éléments du réseau de *screening* :

- Quantités de marchandises dangereuses (tonnage net total et quantités pondérées par substance représentative),
- Nombre de trains voyageurs,
- Vitesse maximale admise pour les trains de marchandises,
- Couverture par des détecteurs de boîtes chaudes et de freins bloqués (HFO),
- Exposition de riverains et de personnes aux postes de travail,
- Exposition de voyageurs dans les zones de quais et les gares,
- Densité de branchements (pour ce terme, il faut élaborer deux définitions qui se différencient par la longueur de la section dans laquelle les branchements sont pris en compte).

La marche à suivre concernant la mise à jour de ces paramètres est documentée au chap. 3.

La méthodologie indiquée dans le document [3] doit être mise à jour sous les aspects suivants, cf. chap. 4 :

- Prise en compte des données sur les accidents majeurs et les accidents ferroviaires survenus pendant les années 2011 à 2018, le but étant de déterminer, à l'aide d'une analyse de tendance, les valeurs actuelles de la fréquence de libération de substances représentatives (en tant que fréquences normées par wagons-citernes-km).
- Adaptations dictées par la prise en compte de la vitesse admissible localement pour les trains de marchandises et des valeurs actualisées en termes de densité de branchements.
- Prise en compte de la limitation de vitesse à 40 km/h pour les wagons-citernes (pleins) qui transportent du chlore (numéro ONU 1017) ; cette restriction est applicable sur tout le réseau depuis 2019.

environnementaux, par ex. qui caractérisent l'exposition de captage des eaux souterraines ou d'eaux superficielles, n'ont pas été mis à jour.

3. Mise à jour de paramètres locaux

3.1 Quantités de marchandises dangereuses

Les données servant à la mise à jour des quantités de marchandises dangereuses transportées se rapportent à la période du 1^{er} janvier au 31 décembre 2018 et proviennent des deux sources suivantes :

- Tronçons des Chemins de fer fédéraux (CFF), du Chemin de fer Berne-Loetschberg-Simplon (BLS) et du Chemin de fer portuaire Suisse SA (HBS) : données exportées du système Anabel 2.0². Chaque jeu de données se réfère à une des 1655 « lignes de transport de marchandises dangereuses ». Le début et la fin de celles-ci sont définis par les points d'exploitation ferroviaire (généralement voisins) et par la banque de données pour installations (BDI). Pour chaque substance – déterminée par le numéro ONU – un jeu de données contient les attributs ci-après permettant de caractériser le transport de marchandises dangereuses sur la ligne concernée :
 - Nombre de wagons (vides et remplis) impliqués dans le transport
 - Tonnage net (sans pondération)
 - Tonnage net pondéré, à attribuer aux six substances représentatives « essence », « propane » et « chlore » (risques pour la population) ou « huiles minérales », « épichlorhydrine » et « tétrachloréthylène » (risques environnementaux).

Environ 5 millions de tonnes de marchandises dangereuses saisies dans le système Anabel ne sont attribuées à aucune ligne de transport de marchandises dangereuses et ne peuvent dès lors pas être prises en considération dans le *screening*. Comme cela ne représente pas plus de 8 pour-mille de l'ensemble des véhicules ou 5 pour-mille du tonnage net total, la marge d'erreur est faible.

- Tronçons de l'infrastructure allemande sur territoire suisse (patrimoine ferroviaire allemand « Bundeseisenbahnvermögen », DICH/BEV) : jeu de données de l'OFT concernant au total 8 lignes, tonnages net par numéro ONU (pas d'indication sur le nombre de wagons transportés).

La mise à jour des paramètres des marchandises dangereuses utilisés dans le *screening* (tonnage net total non pondéré et tonnage pondéré par substance représentative) est effectuée selon les étapes suivantes :

- Addition des quantités pondérées par ligne de transport de marchandises dangereuse pour tous les numéros ONU qui appartiennent à une substance représentative selon les indications d'Anabel 2.0. S'agissant des 8 lignes du jeu de données du DICH/BEV de l'OFT, l'attribution ou les facteurs de pondération sont tirés du *screening* 2011.

2 Fournies par courriel par M. Raimund Helfenberger, CFF-I, le 18 octobre 2019. Le jeu de données couvre tout le réseau à voie normale des CFF, du BLS et du HBS, donc aussi de nombreux tronçons qui ne font pas partie du réseau de *screening*.

- Attribution de chaque ligne de transport de marchandises dangereuses aux sous-éléments déterminants sur la base de la ligne selon BDI (à l'aide d'analyses SIG).³ Si plusieurs lignes sont attribuées à un sous-élément, les quantités de marchandises dangereuses concernées sont additionnées.
- Les deux attributions ci-dessus permettent de saisir, pour chaque sous-élément, la quantité totale de marchandises dangereuses (non pondérée) ainsi que les six quantités pondérées par substance représentative.

L'exhaustivité et la plausibilité des quantités de marchandises dangereuses ont été contrôlées comme suit :

- Identification de sous-éléments qui n'ont pas pu être attribués à une ligne de transport de marchandises dangereuses. Les sources ci-dessus ne couvrent pas les sections suivantes du réseau de *screening* :

- Les Paluds-Monthey (km 6.1 – 6.5 de la ligne 131) et
- km 9.8 – 10.2 de la ligne 160 et km 10.3 – 11.1 de la ligne 169 (toutes deux font partie de l'arc de liaison dans le secteur situé tout au sud-ouest de la gare de triage de Lausanne).

Faute de données, on suppose qu'il n'y a pas de transport de marchandises dangereuses sur ces sections.

- Identification de lignes de transport de marchandises dangereuses figurant dans le jeu de données des CFF et qui n'ont été attribuées à aucun sous-élément. Une visualisation dans le SIG a confirmé qu'elles ne font pas partie du réseau de *screening*.⁴
- Vérification de sauts manifestement peu plausibles du tonnage total de marchandises dangereuses et des quantités de chlore (numéro ONU 1017)⁵ le long des tronçons en dehors des nœuds. Des valeurs peu plausibles sont apparues pour les deux sections suivantes :
 - Sur une section à l'ouest de Sierre, la quantité de marchandises dangereuses chute à 1/20 des valeurs recensées de part et d'autre de cette section. Comme il s'agit manifestement d'une erreur, la valeur recensée est tirée de la moyenne entre les valeurs des deux lignes voisines.

3 L'une des deux valeurs 0 ou 1 est attribuée à chaque paire possible de ligne de transport et de sous-élément, 1 signifiant que les quantités de marchandises dangereuses sont attribuées au sous-élément respectif.

4 Cela inclut les lignes 511 et 522, sur lesquelles sont transportées des marchandises dangereuses à raison d'env. 0,7 million de tonnes pour chaque ligne, qui traversent la gare de triage de MuttENZ. Ces lignes ne font pas partie du réseau de *screening* conformément à l'annexe 1.2a OPAM, de sorte que les quantités transportées ne sont pas recensées. Les flux de marchandises dangereuses traversant les gares de triage ne sont pris en considération que lorsque les lignes concernées font partie du réseau de *screening* (valable entre autres pour les gares de triage de Lausanne, de Limmattal et de Chiasso) ; ils ne sont toutefois pas attribués à une ligne extérieure à la gare de triage (par ex. la ligne 500 au sud de la gare de triage de MuttENZ).

5 Comme il n'y a des transports de chlore vers ou en provenance du réseau ferré qu'en de rares endroits en Suisse, les flux de chlore sont particulièrement appropriés pour les contrôles de plausibilité.

- Sur la ligne 830 entre Bronschhofen et Bettwiesen, la quantité totale de marchandises dangereuses s'élève à 214 000 t, tandis qu'elle se chiffre uniquement à 3400 t sur la liaison avec la ligne 850 à Wil. Comme la quantité ne devrait pas être nettement plus élevée sur une courte section en bordure du réseau de *screening* que sur la section voisine qui représente la liaison avec le reste du réseau de *screening*, les valeurs (plus élevées) sont utilisées aussi bien pour la section Wil-Bronschhofen que pour la section Bronschhofen-Bettwiesen.
- Conformément au jeu de données des CFF, la quantité de marchandises dangereuse affiche une modification assez importante au point d'exploitation ferroviaire « Neuenhof » (variation d'environ 120 000 t/an pour la substance représentative « essence »). Comme cette variation n'est pas plausible, les CFF ont revérifié et corrigé les valeurs au sud et au nord du point d'exploitation, de sorte que les données finales ne présentent plus de sauts.
- Vérification de la cohérence des quantités de marchandises dangereuses à l'intersection des réseaux CFF et DICH/BEV. Les données des deux sources se recoupent sur le tronçon entre la gare badoise de Bâle et le point d'exploitation ferroviaire Gellert Nord situé juste après le pont sur le Rhin. Le tonnage total indiqué par les CFF est supérieur d'environ 20 % à celui de l'OFT. Les données des CFF sont utilisées au sens d'une approche conservative. De plus, on suppose que la quantité de marchandises dangereuse totale ne change pas à la gare badoise.

Contrairement aux *screenings* précédents, les quantités nettes de chlore (numéro ONU 1017) transportées sont désormais aussi prises en compte car, en tant que mesure spéciale prévue dans la déclaration conjointe II relative aux transports de chlore en Suisse (cf. [5]), la vitesse de transport de cette substance est limitée à 40 km/h depuis 2019 sur l'ensemble du réseau ferré suisse, ce qui est déterminant pour le recensement des risques. Le recensement des quantités de chlore pour identifier les risques liés à la substance représentative « chlore » est décrit au ch. 4.3.

La Figure 2 présente tous les tonnages nets de marchandises dangereuses.

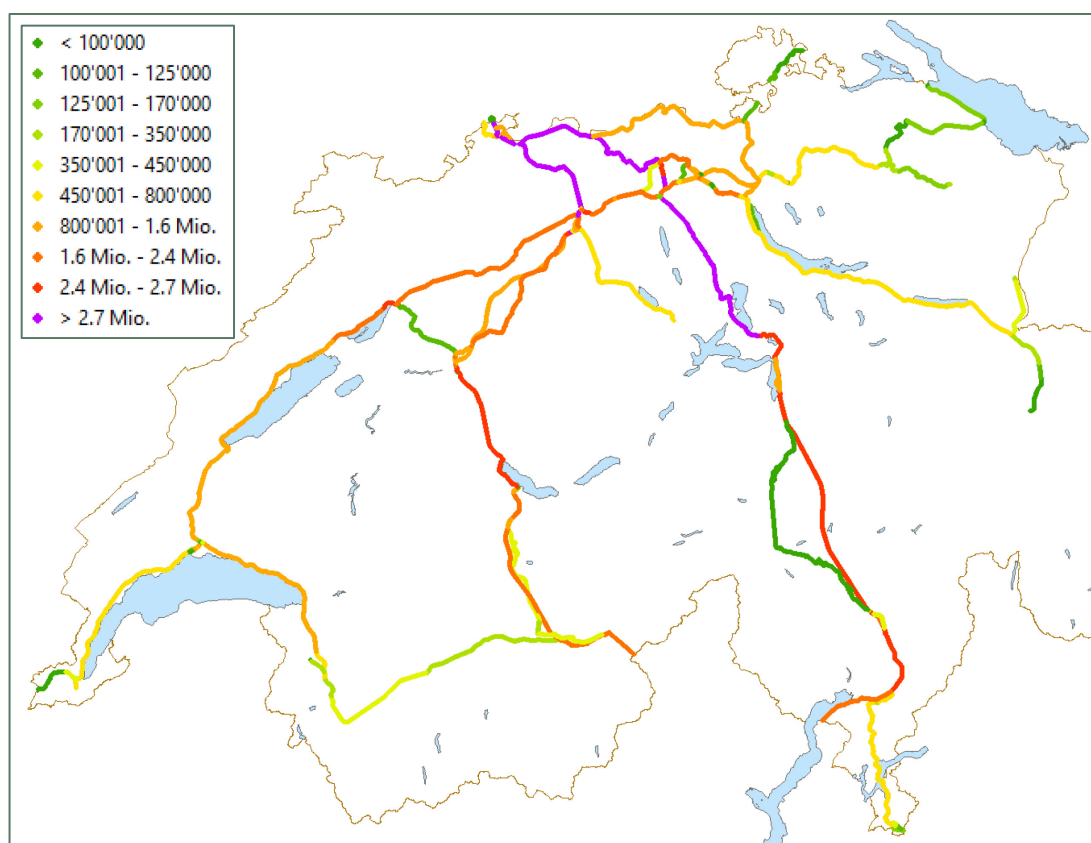


Figure 2 : Total des quantités de marchandises dangereuses transportées en 2018 (en tonnes nettes)

3.2 Nombre de trains voyageurs

Les données servant à la mise à jour du nombre de trains voyageurs se réfèrent à l'année 2018 et proviennent des sources suivantes :

- Tronçons CFF : jeu de données *Open source* sur <https://data.sbb.ch/explore/dataset/zugzahlen/> (téléchargée le 6 septembre 2019).
- Tronçons BLS : les données ont été mises à disposition par BLS Réseau SA dans un tableau Excel (structure des données similaires à celle des CFF)⁶.

Les deux jeux de données indiquent le nombre total des trains de toutes les entreprises de transport ferroviaire (ETF) qui ont circulé en 2018 et transporté des voyageurs (trafic grandes lignes, trafic régional, chargement des automobiles etc.) sur les lignes entre deux points – généralement voisins – d'exploitation ferroviaire (mais, contrairement aux quantités de marchandises dangereuses, sans indication de la ligne BDI). Les valeurs annuelles

6 Fournies par M. Erdal Bakan par courriel du 23 juillet 2019.

ont été divisées par 365 pour obtenir une moyenne journalière, étant donné que le *screening* est établi sur la base de valeurs journalières.

Des données électroniques des sources précitées n'étaient pas disponibles pour les lignes ci-après, de sorte que les données sur le nombre de trains voyageurs ont été obtenues à l'aide de l'horaire en ligne des CFF :

- Liaison Furet-Jonction (ligne 154, partie de l'itinéraire direct entre Genève-La Praille et Genève-aéroport)
- Bâle gare badoise-bifurcation de la ligne 523 en direction de Weil am Rhein
- Bâle gare badoise-Grenzach
- Schaffhouse gare de marchandises-Thayngen
- Coire-Coire Ouest (uniquement trains RhB)

Pour les tronçons du réseau de *screening* énumérés ci-après, les sources susmentionnées ne contiennent pas de données électroniques sur le trafic de trains voyageurs ; vu leur situation et sur la base des informations de l'horaire, on peut partir du principe qu'aucun train voyageurs n'y circule :

- Voie de manœuvre dans les gares de triage de Lausanne, de Limmattal, de Chiasso et de Genève⁷
- Bifurcation de la ligne en direction de Weil am Rhein-Bâle Kleinhüningen Port (partie de la ligne 523)
- Bâle CFF gare de triage-Basel Auhafen (ligne 525)
- Liaison Killwangen Ouest-Würenlos

Les chiffres concernant les trains voyageurs ont en principe été attribués aux sous-éléments de la même manière que les quantités de marchandises dangereuses, c'est-à-dire à l'aide d'une analyse SIG.

Mis à jour en 2018, le nombre de trains voyageurs sur le réseau de *screening* est visualisé dans la Figure 3.

⁷ Lorsque des valeurs étaient disponibles pour des voies traversant des gares de triage (par ex. gare de triage de Bienne), ces valeurs ont été reprises. Cependant, dans tous ces cas, le nombre de trains voyageurs est très faible.

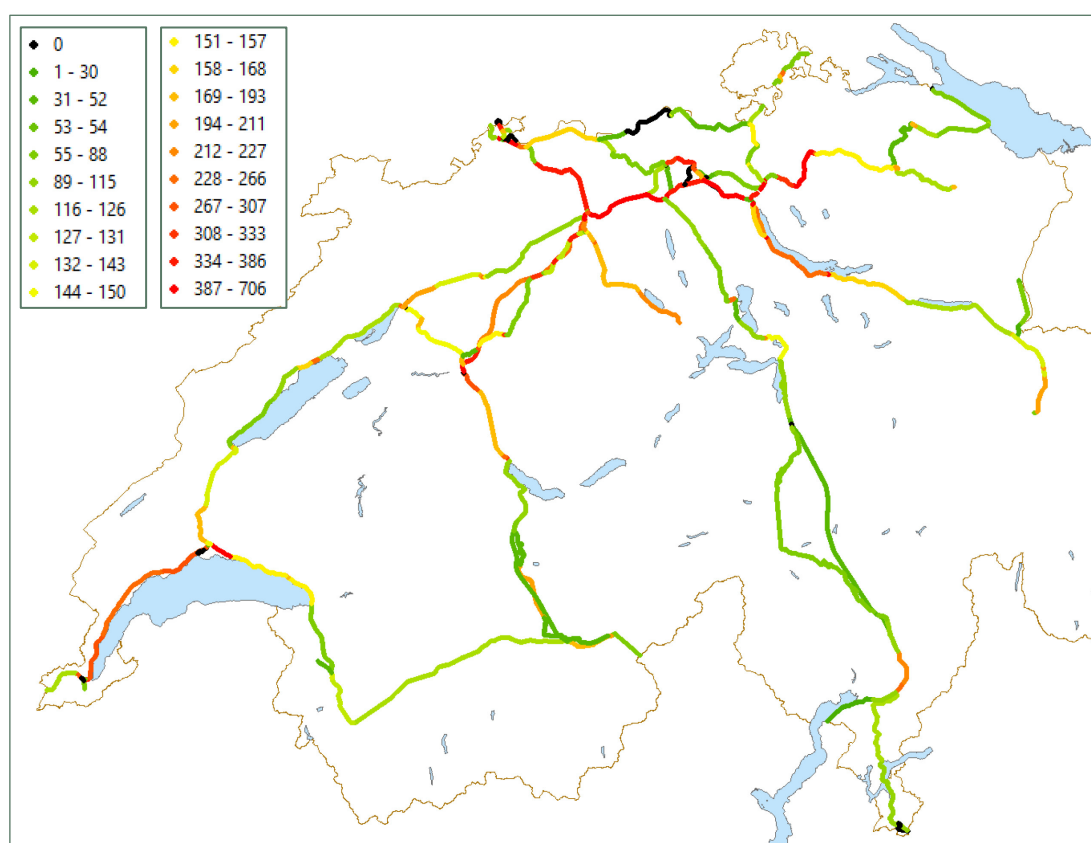


Figure 3 : Nombre de courses de trains voyageurs sur le réseau de screening en 2018 (valeur moyenne journalière)

3.3 Vitesse admissible pour les trains de marchandises

Le *screening* 2018 recense pour la première fois les vitesses maximales admises sur l'ensemble du réseau pour les trains de marchandises et les prend en considération dans le calcul des risques. Les sources de données ci-après fournissant les valeurs actuelles ont été utilisées en accord avec les CFF et incluent aussi bien les tronçons des CFF que ceux du BLS :

- Application de calcul des itinéraires des trains (*ZLR-Toolbox*) dans la version 3.7.20 d'octobre 2019.
- Dans cette *toolbox*, l'instrument utilisé s'appelle « Fahrwegsuche NeTS »⁸
- Jeu de données déterminant : vitesse pour la catégorie « Kombi GV », séparée pour les deux sens.

Les données ont été téléchargées en novembre 2019 pour chaque ligne (c.-à-d. entre points d'exploitation ferroviaire au début et à la fin d'une ligne BDI) directement depuis la *toolbox* ; elles contenaient, entre autres, les attributs suivants :

8 NeTS: Network-wide Track Management System

- ligne BDI,
- sens de la marche,
- vitesse maximale pour catégorie de freinage A et rapport de freinage 95 % (multiples de 5 km/h, valeurs entre 25 et 140 km/h),
- point km BDI jusqu'auquel cette vitesse est valable.

Étant donné que les points centraux des sous-éléments sont caractérisés par la ligne BDI et le km BDI, les valeurs applicables par sens de circulation peuvent en principe être attribuées directement à un sous-élément. Comme une ligne du réseau de *screening* est souvent assortie d'autres lignes parallèles, il faut parfois attribuer, aux nœuds, à un même sous-élément différentes vitesses par sens de circulation. Afin d'attribuer dans tous les cas et indépendamment du sens de circulation une seule vitesse à un sous-élément, il convient de procéder comme suit :

- Il faut déterminer la valeur la plus faible, la valeur moyenne et la valeur plus élevée de toutes les vitesses.
- En fonction de ces trois valeurs, la valeur utilisée pour le calcul du risque conformément à la méthodologie du *screening* (une valeur de la liste 30 / 40 / / 90 / 100 km/h) est attribuée conformément au Tableau 1. Les valeurs supérieures à 100 km/h sont réduites à cette valeur, étant donné que les wagons de trains « normaux » de marchandises mixtes ou dans les trains entiers de marchandises dangereuses ne sont homologués que pour une vitesse maximale de 100 km/h.

Lorsque les valeurs manquaient, la procédure suivante a été appliquée :

- Pour les courtes parties finales des tronçons des CFF ou du BLS (uniquement quelques sous-éléments) : reprise de la valeur du sous-élément voisin.
- Tronçons DICH/BEV : vitesse maximale supposée de 80 km/h.

L'évaluation montre que la vitesse maximale de 100 km/h résulte pour 71 % du réseau. Seuls 2,5 % du réseau indiquent une vitesse inférieure ou égale à 60 km/h (cf. Figure 4).

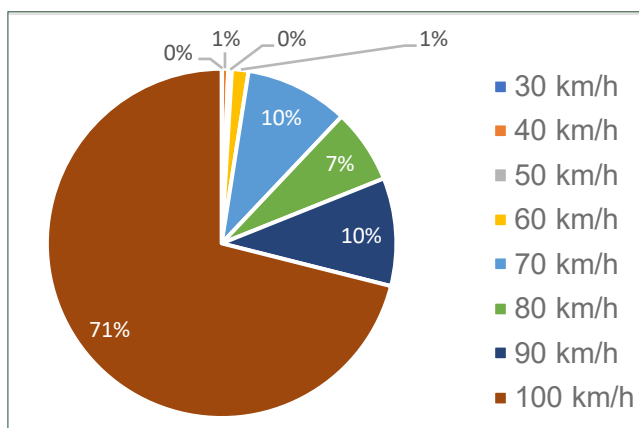


Figure 4 : Répartition du nombre de sous-éléments (ou longueur du réseau de screening) par catégorie de vitesse. Les vitesses les plus fréquentes sont clairement celles avoisinant la valeur maximale de 100 km/h, pour laquelle les wagons « normaux » sont homologués.

v _{max} Minimum	v _{max} Maximum	v _{max} Mittelwert	v _{max} Screening	Anz. betroffene Subelemente
30	60	45	40	8
30	95	70	70	7
35	35	35	30	2
40	60	46.7	50	5
40	60	50	50	17
40	75	58.8	60	1
40	80	56.7	60	5
40	80	60	60	2
40	90	56.7	60	1
40	115	94.5	90	3
40	120	80	80	1
50	60	55	50	3
50	120	85	80	8
50	120	89.5	90	3
55	55	55	50	26
55	80	71.25	70	350
55	115	95	90	1
55	120	93.9	90	2
60	65	62.5	60	1
60	70	65	60	3
60	75	67.5	70	6
60	80	70	70	5
60	85	72.5	70	1
60	85	76.7	80	11
60	95	77.9	80	2
60	115	86.7	90	2
65	65	65	60	13
65	65	65	60	25
65	90	83.3	80	1
65	90	83.75	80	8
65	95	80	80	29
65	95	81	80	3
70	75	72.5	70	14
70	105	78.75	80	3
70	140	96.9	100	1
75	75	75	70	165
75	75	75	70	827
75	75	75	70	12
75	75	75	70	5
75	80	77.5	80	7
75	85	78.3	80	58
75	85	80	80	80
75	85	80	80	1
75	95	81.7	80	4
75	105	90	90	3
75	115	90	90	1
75	115	95	90	11
75	115	101.7	100	1
75	120	97.5	100	1
75	120	103.3	100	4
75	120	105	100	13
75	140	102.5	100	5
80	90	85	80	17
80	100	90	90	3
80	110	95	90	3
80	120	99.2	100	152
80	120	100	100	1
80	120	100	100	1
85	85	85	80	32
85	85	85	80	332
85	85	85	80	47
85	85	85	80	11
85	90	87.5	90	57
85	90	88.3	90	1
85	95	90	90	10
85	100	92.5	90	16
85	100	93.3	90	6
85	105	95	90	26
85	110	93.75	90	7
85	110	95	90	8
85	110	97.5	100	5
85	110	100	100	5
85	120	102.5	100	31
85	140	108.75	100	2
90	95	92.5	90	69
90	95	93.3	90	1
90	100	95	100	44
90	105	97.5	100	4
90	105	97.5	100	11
90	110	95	100	4
90	110	100	100	2
90	115	102.5	100	8
90	120	101.7	100	1
90	120	105	100	12
95	95	95	90	3
95	95	95	90	982
95	95	95	90	1
95	95	95	90	42
95	100	97.5	100	229
95	105	100	100	30
95	110	102.5	100	1
95	115	105	100	14
95	120	107.5	100	3
≥ 100	(irrelevant)	(irrelevant)	100	11'133

Tableau 1 : Valeur minimale, maximale et moyenne de la vitesse maximale admise localement pour les trains de marchandises lorsque plusieurs valeurs sont attribuées à un

sous-élément (toutes les valeurs en km/h) et valeur attribuée en vue du *screening*. La dernière colonne indique le nombre de sous-éléments pour lesquels cette règle d'attribution est valable. Les cas triviaux (toutes les trois valeurs identiques et multiples de 10 dans les trois premières colonnes) ne sont pas présentés.

La vitesse maximale utilisée pour le *screening* est visualisée dans la Figure 5.

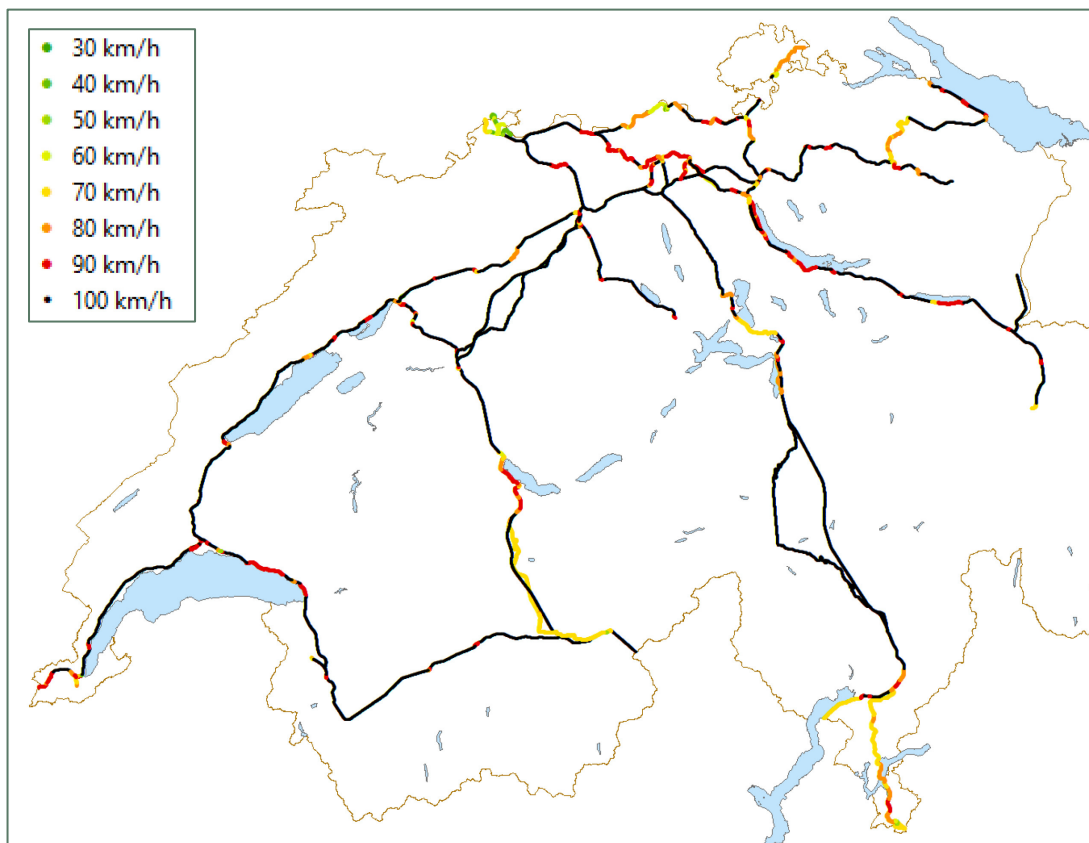


Figure 5 : Vitesse maximale de trains de marchandises sur le réseau de screening (valeurs en vue du recensement des risques, à l'exception du chlore (n° ONU 1017), soumis à une règle d'exception $v_{max} = 40$ km/h)

La substance représentative « chlore » constitue un cas spécial, puisque les transports de chlore (numéro ONU 1017) sont soumis à une vitesse maximale de 40 km/h, tandis que les autres substances ne font pas l'objet d'une restriction spécifique de vitesse. Le ch. 4.2.3 indique de quelle manière les différentes vitesses maximales sont prises en compte pour la substance représentative « chlore » lors du recensement des risques.

3.4 Couverture par des détecteurs de boîtes chaudes et de freins bloqués (HFO)

En été 2019, des HFO étaient installés à 53 endroits sur le réseau des CFF et du BLS (cf. Figure 6). À tous les endroits, toutes les voies principales et donc tous les sens de la marche sont couverts. Les tronçons DICH/BEV ne présentent pas d'installations de ce type.

Afin de tenir compte de la couverture en HFO utilisée dans la méthodologie du *screening*, la distance à partir d'un sous-élément jusqu'au prochain HFO (dans les deux directions) est calculée à l'aide du SIG et attribuée aux catégories de distances prescrites (les mêmes que lors du dernier *screening*). Si, dans un sens de circulation, il n'y a pas de HFO jusqu'à la frontière suisse, la distance est attribuée à la catégorie de distance maximale (ce qui correspond à la moins bonne couverture par HFO) ; autrement dit, les HFO d'autres chemins de fer à l'étranger ne sont pas pris en compte⁹. Il en résulte que les tronçons en provenance de l'étranger en région limitrophe jusqu'au premier HFO sont toujours attribués à la moins bonne couverture par HFO¹⁰.



Figure 6 : Emplacements des 53 HFO (triangles noirs) sur le réseau de screening (en brun) des CFF et du BLS

Les résultats de l'analyse SIG ont fait l'objet d'un contrôle de plausibilité et été adaptés si nécessaire. Les catégories de couverture utilisées pour le *screening* 2018 sont présentées à la Figure 7 (direction avec la meilleure couverture) et à la Figure 8 (direction avec la moins bonne couverture).

⁹ Le HFO des CFF à proximité de Domodossola est toutefois pris en compte.

¹⁰ Il en va de même pour les tronçons de *screening* qui commencent en Suisse.

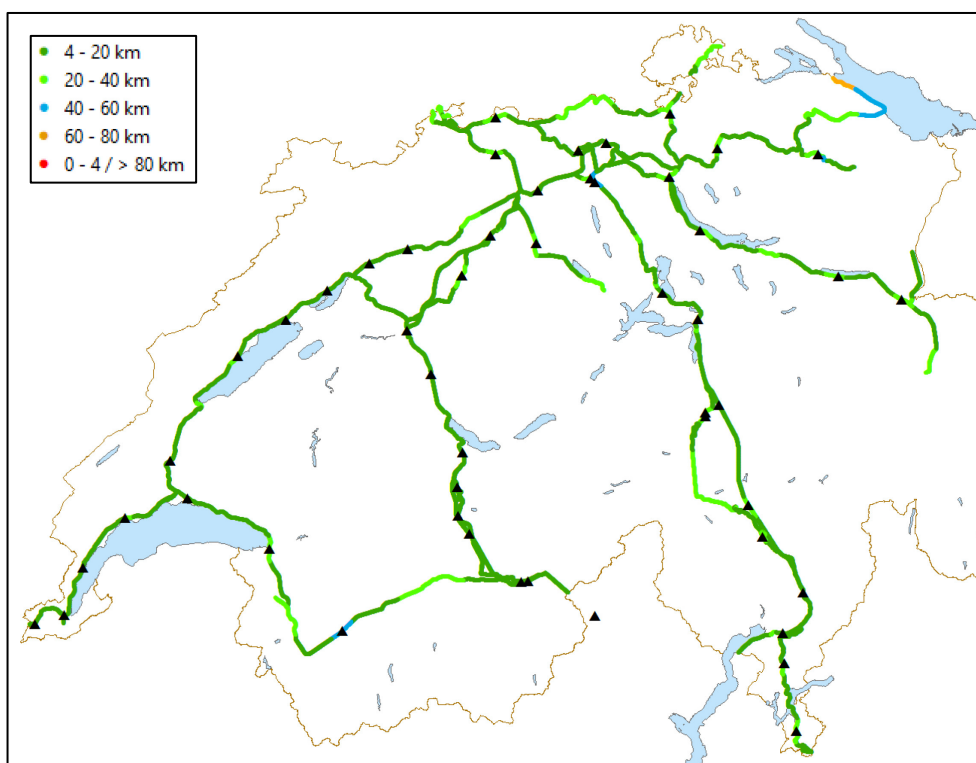


Figure 7 : Catégorie de distance entre un sous-élément et le prochain HFO

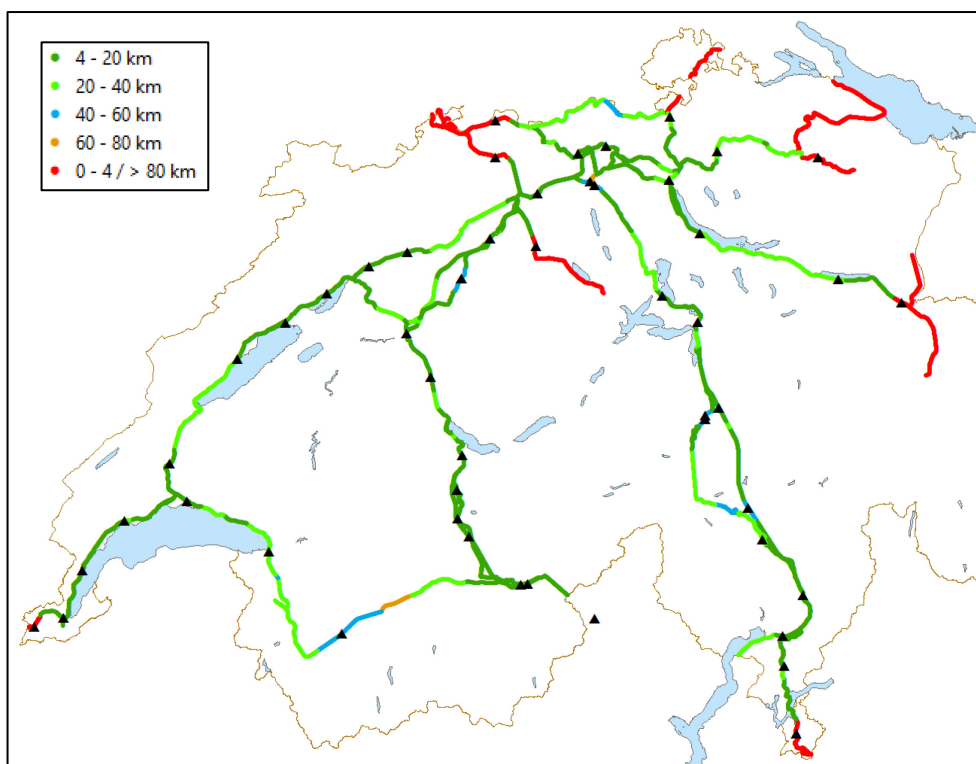


Figure 8 : Catégorie de distance entre un sous-élément et l'emplacement du HFO dans l'autre direction que celle présentée dans la Figure 7 (c.-à-d. la distance la plus importante jusqu'au prochain HFO et donc la couverture moins bonne ou égale)

3.5 Exposition de riverains et de personnes aux postes de travail

Les données de la mise à jour de l'exposition des riverains et des personnes aux postes de travail sont fondées sur les données les plus récentes, géo-référencées au bâtiment près, disponibles auprès de l'Office fédéral de la statistique en octobre 2019. Les sources suivantes ont été utilisées :

- Riverains : STATPOP 2017, état au 31 décembre 2017. Le chiffre recensé est le nombre de riverains sur un total de 1,538 million de bâtiments.
- Postes de travail : STATENT 2015, état conformément à l'enquête auprès des entreprises en 2015 (valeurs provisoires)¹¹. Le chiffre recensé est le nombre total d'employés et le nombre d'équivalents plein temps pour un total d'environ 676 000 sites d'exploitation.

Grâce au SIG, le nombre de riverains et de postes de travail (en équivalents plein temps) est calculé pour chaque sous-élément en distances radiales de 0 – 50, 50 – 250, 250 – 500 et 500 – 2500 m. Les résultats sont divisés par la surface afférente, ce qui permet de déterminer la densité de population (en pers./km²). Les valeurs sont adaptées dans les cas suivants :

- Si la densité de postes de travail calculée (exprimée en équivalents plein temps) dépasse 50 000 pers./km² dans le rayon 0 – 50 m, la valeur utilisée est 50 000 pers./km² (concerne au total neuf sous-éléments)¹². Des valeurs supérieures à 50 000 pers./km² ne sont pas plausibles et découlent généralement d'un nombre de postes de travail qui sont attribués à un seul bâtiment mais qui sont en vérité répartis sur plusieurs sites d'une entreprise (la plupart du temps dans la même ville ou localité).
- Comme les données sur les riverains ou les postes de travail à l'étranger manquent, les données recensées en région limitrophe (distance < 500 m de la frontière) sont corrigées de manière à être plausibles. Cette correction a été effectuée uniquement pour la région de Bâle, étant donné que c'est le seul endroit où des zones à l'étranger situées à moins de 500 m de la frontière présentent une urbanisation importante et contribuent de manière significative à la densité de population.

3.6 Exposition de voyageurs dans les zones de gares ou de quais

Dans le *screening* 2011, le nombre de personnes séjournant dans les zones de gares ou de quais a été estimé à partir du nombre moyen journalier de personnes qui montent à bord d'un train, qui en descendent ou qui changent de train ; pour ce faire, des chiffres séparés étaient disponibles.

11 L'expérience montre que les valeurs définitives, qui sont publiées nettement plus tard, ne varient pas beaucoup par rapport aux valeurs publiées provisoirement ; on peut donc qualifier la qualité des valeurs provisoire de très bonne.

12 À titre comparatif : la densité de riverains la plus élevée dans un rayon de 0 – 50 m est d'environ 41 000 pers./km². Les valeurs concernant les autres catégories de distances sont nettement plus basses étant donné que la surface considérée est plus importante et qu'un géoréférencement erroné ou imprécis des riverains ou des postes de travail porte moins à conséquence.

Les données destinées à la mise à jour de l'exposition des voyageurs dans les zones de gares ou de quais reposent sur les indications relatives aux personnes qui montent à bord d'un train ou qui en descendent par gare en 2018 (désigné par TJM). Ces données sont déduites d'enquêtes ou de recensements des lieux de départ et de destination des voyageurs dans les trains. Les données utilisées proviennent des sources suivantes :

- Tronçons des CFF : jeu de données *Open source* sur <https://data.sbb.ch/explore/dataset/passagierfrequenz/> (extrait de la banque de données des personnes qui montent à bord d'un train et qui en descendent, téléchargé en septembre 2019).
- Tronçons du BLS : les données concernant les gares ont été mises à disposition par BLS Réseau SA dans un tableau Excel¹³.

La structure des données des deux séquences est identique et indique, par gare ou station, la moyenne annuelle des voyageurs (embarquements et débarquements) par jour en 2018. Les nombres de voyageurs sont cumulés. Le jeu de données inclut les personnes qui changent de train ; celles-ci ont été saisies aussi bien en tant que personnes qui descendent d'un train et qui montent à bord d'un autre.

Le *screening* requiert un nombre moyen de personnes qui se trouvent au même moment dans une gare ou sur ses quais. Afin de déterminer ce chiffre pour la journée et pour la nuit, on a procédé comme suit ou adopté les hypothèses suivantes :

- 75 % des personnes voyagent la journée entre 7h00 et 19h00 et 25 % durant les heures nocturnes¹⁴. Cela signifie que le nombre moyen de personnes qui se trouvent dans une gare est trois fois plus élevé la journée que la nuit.
- Les voyageurs (qui montent à bord d'un train ou en descendent) séjournent en moyenne 4 minutes dans une gare¹⁵. Exception : cette valeur est doublée pour les 19 gares qui présentent le plus grand volume de voyageurs (Zurich gare centrale, Berne, Bâle CFF, Winterthur, Lausanne, Zurich Oerlikon, Olten, Genève, Zurich Hardbrücke, Biel/Bienne, St-Gall, Aarau, Zurich Altstetten, Thoun, Baden, Neuchâtel, Coire, Lenzbourg, Brugg AG) afin de tenir compte des chemins plus longs et des éventuels achats effectués dans le périmètre de la gare.
- Le nombre moyen de personnes qui se trouvent en même temps dans une gare ou sur un quai la journée est déterminé comme suit :

13 Fourni par courriel de M. Erdal Bakan le 23 juillet 2019.

14 Source : OFS, ARE – Microrecensement mobilité et transports (MRMT), taux d'occupation en trafic ferroviaire, déduit d'une enquête menée auprès de 57 000 personnes en 2015.

15 Lors du *screening* 2011 [3], on est parti des hypothèses suivantes concernant la durée moyenne du séjour en gare : personnes qui prennent un train : 5 min., personnes qui descendent d'un train : 2 min., personnes qui changent de train : 10 min. Le chiffre de 4 minutes correspond à une valeur moyenne pondérée.

$$n_{\text{Pers},i} = \frac{3}{4} \cdot \text{TJM}_i \cdot t_{\text{séjour}} / t_{\text{jour}}^{16}$$

- La densité de population par sous-élément est attribuée comme suit :
 - Comme pour les riverains et les postes de travail, on distingue quatre rayons : 0 – 50, 50 – 250, 250 – 500 et 500 – 2500 m.
 - La part de TJM attribuée à un sous-élément et à un rayon est égale à la part de surface de toutes les zones de quais dans le même rayon autour du point central du sous-élément. Une analyse SIG a été effectuée à cet effet en utilisant un jeu de données qui inclut toutes les surfaces de quais des gares des CFF (et en partie du BLS).
 - Le nombre de personnes par sous-élément et par rayon est converti en densité et joint aux attributs qui, dans l'instrument TgG 2.1 (ou dans les tableaux Excel après téléchargement des inputs ou des résultats), portent les désignations «Zus_Pers._tags_x_ym» ou «Zus_Pers._nachts_x_ym» (pour « personnes supplémentaires » la journée ou la nuit).
 - En outre, on suppose qu'aussi bien la journée que la nuit, 10 % des personnes se trouvent dans un bâtiment ou sont protégées d'une autre manière des effets d'un accident majeur ; c'est-à-dire que le paramètre « Anteil Zusatzpersonen in Gebäuden » (nombre de personnes supplémentaires dans les bâtiments) est chiffré à 10 %, indépendamment de la gare.

Pour la gare badoise de Bâle et pour les gares de Herblingen et de Thayngen, les sources susmentionnées ne contenaient pas de données sur les voyageurs, étant donné que ces gares ne sont pas dans le domaine de compétence des chemins de fer suisses. On a donc tablé sur des valeurs estimées à partir de gares présentant un nombre similaire d'arrêts de trains. Les différences de ce nombre sont prises en considération à l'aide d'un facteur de correction. Les gares de référence et les facteurs de correction suivants ont été utilisés :

- Pour la gare badoise de Bâle : Pratteln, facteur de correction 0,7¹⁷
- Herblingen et Thayngen : Münsterlingen-Scherzingen, facteur de correction 1,2 pour chaque gare.

3.7 Densité de branchements

Les données en vue de la mise à jour de la densité de branchements proviennent de la BDI. Un jeu de données de juillet 2019 a été fourni au format

16 Explication : facteur $\frac{3}{4}$: part TJM la journée, $t_{\text{séjour}}$: durée moyenne de séjour dans une gare (8 min.), t_{jour} : durée de la journée, c.-à-d. 12*60 min. Le quotient $t_{\text{séjour}}/t_{\text{jour}}$ correspond à la probabilité qu'un voyageur se trouve par hasard dans une gare ou sur un quai lors d'un événement.

17 Le facteur de correction 0,7 signifie que le nombre de trains voyageurs s'arrêtant à la gare badoise de Bâle s'élèvent à 70 % de la valeur recensée à Pratteln. Ainsi, le nombre de voyageurs présumé pour la gare badoise de Bâle s'élève à 70 % de la valeur recensée à Pratteln.

csv par courriel des CFF le 17 juillet 2019. Les données ad hoc pour le réseau BLS ont été préparées par le même service et fournies le 21 juillet 2019 après contrôle par le BLS. Les données portent sur tous les branchements des voies principales¹⁸ avec leurs coordonnées X et Y¹⁹. Pour les tronçons DICH/BEV, on s'est basé sur des prises de vue aériennes de map.geo.admin.ch pour identifier l'emplacement des branchements.

Le *screening* 2011 a évalué la densité des branchements en déterminant le nombre de branchements dans un rayon de 150 m du point central de chaque sous-élément. Cette méthode a pour inconvénient que le nombre ainsi déterminé de branchements dans les zones de gares présentant de nombreuses voies parallèles est systématiquement plus élevé que le nombre de branchements sur un parcours typique pour les trains de marchandises (dangereuses). C'est pourquoi la procédure d'évaluation dans le *screening* 2018 a été modifiée. L'approche est la suivante :

- On présume que, dans de nombreux cas, la ligne BDI est très proche du parcours effectif.
- Des corridors (tampons) d'une largeur de 5 m de part et d'autre des lignes BDI qui font partie du réseau de *screening*. Pour chaque sous-élément, on évalue alors le nombre de branchements qui se trouvent dans ces corridors et qui se trouvent à moins de 150 m du point central dudit sous-élément.
- Vu l'imprécision quant à la distance à mettre en corrélation avec l'emplacement de branchements et l'emplacement d'accidents ferroviaires, un secteur de +/- 500 m est évalué en sus (même largeur du corridor le long des lignes BDI)²⁰.

La Figure 9 ci-après illustre l'évaluation de la densité de branchements à l'exemple de la gare de Bâle CFF.

Le Tableau 2 présente une évaluation statistique du nombre de branchements dans les deux secteurs définis ci-dessus. Il indique aussi une articulation en trois catégories (désignées comme densité de branchements). Comme lors du *screening* 2011, la constitution de catégories se base, du point de vue qualitatif, sur les trois catégories « aucun branchement », densité « moyenne » et « élevée » de branchements. Le nombre de sous-éléments afférents décroît en fonction de l'augmentation de la densité des branchements.

18 Selon les indications de Mme D. Winklehner (CFF I-AT-FW-SAFB-DMR), la définition des voies principales a changé depuis le dernier *screening*. Elle a été étendue et inclut désormais aussi les voies qui mènent aux secteurs de manœuvre, alors qu'elles étaient précédemment classées comme voies secondaires. Le nombre de branchements sur les voies principales a par conséquent augmenté.

19 Les autres attributs (ID du branchement, numéro (local) du branchement et point d'exploitation ferroviaire correspondant) n'ont pas été utilisés pour l'évaluation car ils n'auraient rien apporté de plus.

20 Les corridors de 2*150 m de long se chevauchent avec les corridors de 2*500 m de long, c'est-à-dire que dans le corridor le plus long, il y a toujours au moins autant d'aiguillages que dans le plus court, voir également la figure 9

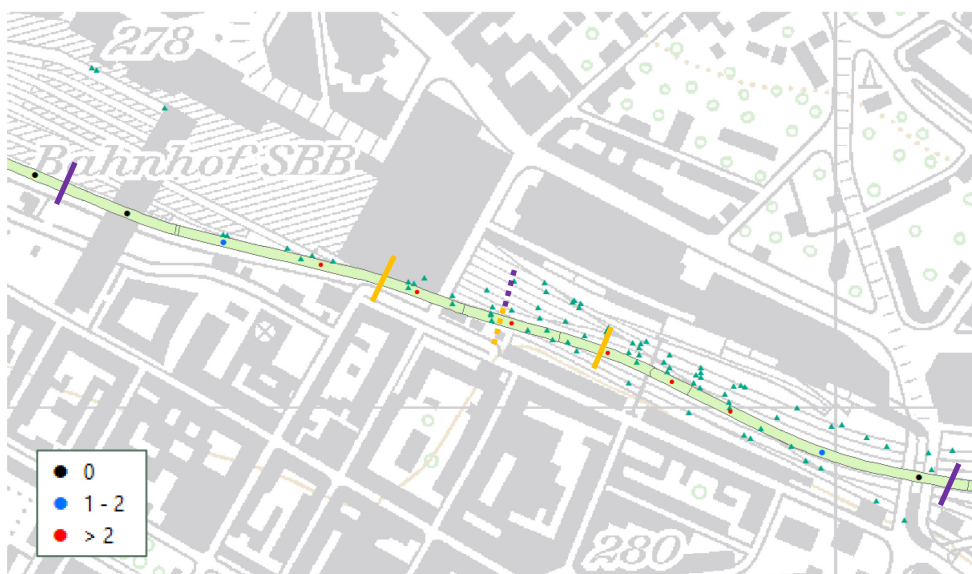


Figure 9 : Gare de Bâle CFF : emplacements de branchements (triangles verts), corridor d'une largeur de 10 m (en vert clair) et densité de branchements qui en résulte (cf. points et légende). Pour la plage de distance de 2*150 m, dont la longueur est représentée par les lignes orange à partir du sous-élément au milieu de l'image. Les limites du corridor de 2*500 m de long sont marquées par des lignes violettes pour le même sous-élément. Pour le même sous-élément, une densité de branchement > 2 résulte pour les deux longueurs de couloir.

Anzahl Weichen innerhalb eines 10 m breiten Bandes der Länge 2*150 m	Anzahl Subelemente	Anteil Subelemente [%]	Anteil bezogen auf Klassen 0, 1 - 2, > 2
0	12'449	74.1%	74.1%
1	1'636	9.7%	15.4%
2	954	5.7%	
3	823	4.9%	10.5%
4	433	2.6%	
5	234	1.4%	
6	95	0.6%	
7	53	0.3%	
8	41	0.2%	
9	26	0.2%	
10	21	0.1%	
>10	45	0.3%	

Anzahl Weichen innerhalb eines 10 m breiten Bandes der Länge 2*500 m	Anzahl Subelemente	Anteil Subelemente [%]	Anteil bezogen auf Klassen 0, 1 - 4, > 4
0	8'413	50.0%	50.0%
1	1'351	8.0%	30.4%
2	942	5.6%	
3	1'516	9.0%	
4	1'294	7.7%	
5	806	4.8%	19.6%
6	686	4.1%	
7	421	2.5%	
8	257	1.5%	
9	232	1.4%	
10	129	0.8%	
11	110	0.7%	
12	78	0.5%	
13	74	0.4%	
14	59	0.4%	
15	62	0.4%	
16	47	0.3%	
17	50	0.3%	
18	29	0.2%	
19	29	0.2%	
20	31	0.2%	
>20	194	1.2%	

Tableau 2 : Répartition du nombre de branchements dans un corridor d'une largeur totale de 10 m le long des lignes BDI, la longueur du corridor étant respectivement de 2*150 m et 2*500 m. Le tableau présente également la synthèse en 3 catégories définies différemment (désignées comme densité de branchements) ; l'une d'entre elles est utilisée pour le screening (cf. commentaires au ch. 4.2.3).

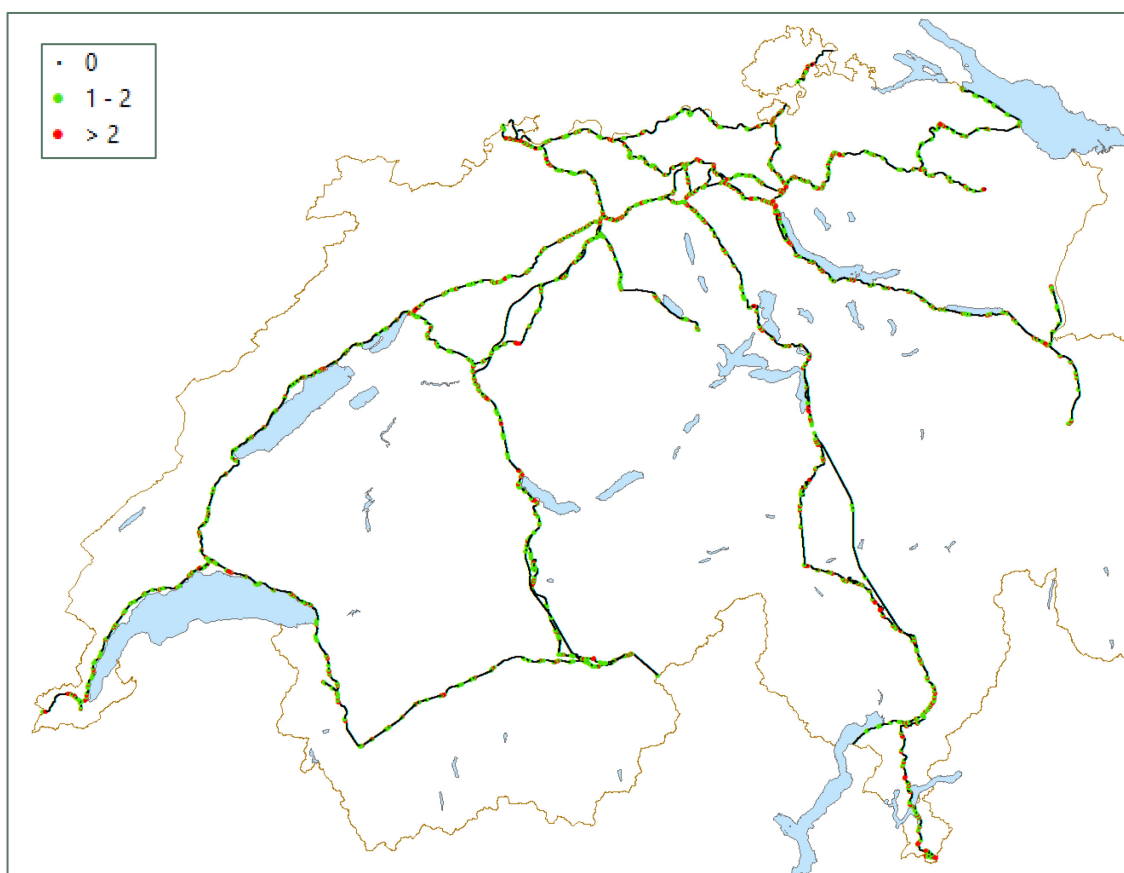


Figure 10 : Vue d'ensemble de la répartition de la densité de branchements sur l'ensemble du réseau de screening (la présentation n'est qu'approximative parce que les différences entre les 16 810 sous-éléments apparaissent sur des espaces confinés)

4. Mise à jour des paramètres méthodologiques

4.1 Introduction

Dans le cadre de la mise à jour des paramètres décrits ci-dessus, la méthodologie de calcul [3] a également été soumise à des modifications en ce qui concerne les règles de calcul qui permettent de déterminer, à partir des attributs précités et de quelques autres, les couples de valeurs fréquence-amplitude des scénarios d'accidents majeurs. Il s'agit des aspects méthodologiques suivants :

- Poursuite des tendances en ce qui concerne la fréquence des propagations importantes de marchandises dangereuses et des accidents ferroviaires qui constituent, comme le montre l'expérience, les principales causes d'accidents majeurs (déraillements et collisions). On peut en déduire des variations de la fréquence de propagations de marchandises dangereuses sur tout le réseau de *screening*, ce qui influe à son tour sur l'évaluation des risques locaux (cf. ch. 4.2).

- Étude des conséquences de la prise en compte à l'échelle du réseau des vitesses maximales admises localement pour le transport de marchandises au moyen de facteurs de correction prédéfinis. Cela permet de compenser une augmentation, d'origine méthodologique mais non explicable de manière méthodologique, de la fréquence des propagations sur l'ensemble du réseau.
- Prise en compte par calcul de la densité de branchements lors de la détermination de la fréquence spécifiquement locale d'accidents majeurs (cf. ch. 4.2.3). Ici aussi, il s'agit de fixer des facteurs de correction plausibles à condition que la fréquence des accidents majeurs cumulée sur l'ensemble du réseau n'augmente pas pour des raisons méthodologiques.
- Les wagons-citernes transportant du chlore (numéro ONU 1017) sont acheminés à une vitesse maximale de 40 km/h, tandis que le transport des autres substances attribuées à la substance représentative « chlore » est régi par les restrictions applicables localement au transport de marchandises. Il faut s'assurer que ces restrictions de vitesse sont prises en considération de manière correcte, compte tenu des quantités transportées (cf. ch. 4.2.3).

Tous les autres éléments de la méthodologie de calcul (par ex. scénarios d'accidents majeurs, modèles de létalité, etc.) qui ne sont pas mentionnés ici ne changent pas dans le contexte de la présente mise à jour du *screening*.

4.2 Grandeurs d'influence sur la fréquence de propagations

4.2.1 Évolution des accidents ferroviaires et du taux de propagation

Pour déterminer la fréquence des accidents majeurs, le *screening* 2011 a tenu compte de propagations de marchandises dangereuses qui sont survenues entre 1976 et 2010 (cf. [3]) ; il en est allé de même pour les déraillements et les collisions de trains. La présente mise à jour tient aussi compte de la statistique complète des accidents ferroviaires survenus entre le début 2011 et la fin 2018. La méthodologie appliquée reste inchangée ; c'est un facteur important afin de ne pas fausser, par des changements méthodologiques, les évolutions observées sur de nombreuses années.

La méthodologie peut se résumer ainsi :

- La valeur de base de la fréquence d'un accident majeur (défini ici par la propagation d'au moins 1000 l de marchandise dangereuse) sur voie normale (sans les mouvements de manœuvre) en Suisse est déterminée à l'aide de la fréquence moyenne de ces événements observés depuis 1976. Entre 1976 et 2010, il y a eu au total six de ces événements (cf. tableau 2 du document [5]), le dernier étant survenu le 21 octobre 1994²¹.

21 Les six accidents majeurs sont survenus le 4 juin 1984 à Sargans, le 19 septembre 1988 à Au, le 4 janvier 1991 à Stein-Säckingen, le 8 mars 1994 à Zürich-Affoltern, le 30 juin 1994 à Lausanne et le 21 octobre 1994 à Amsteg.

Un nouvel accident majeur (au sens de la définition ci-dessus) s'est produit vingt ans plus tard, au cours d'un transport le 25 avril 2015 à Dailens²².

- La statistique laisse certes conclure à un net recul du nombre des accidents majeurs en Suisse, mais vu le faible nombre d'accidents majeurs, ce recul n'est pas prouvable de manière statistique univoque et avec la signification statistique souhaitée.
- Depuis 1976, le nombre annuel d'accidents ferroviaires qui pourraient en principe entraîner un accident majeur a nettement reculé, si l'on tient compte des kilomètres parcourus (c.-à-d. le nombre d'accidents par trains-kilomètres). On suppose que l'évolution concernant les accidents majeurs est approximativement similaire à celle des déraillements et des collisions. L'évolution du nombre d'accidents par train-kilomètre est donc déterminée sur la base de ces derniers et reportée telle quelle sur les événements impliquant des marchandises dangereuses.
- Comme dans les *screenings* précédents, on prend en compte ci-après les types d'accidents sur voie normale en tant qu'événements ferroviaires déterminants pour l'analyse de l'évolution :
 - Accidents chez les CFF (y c. Turbo) et le BLS. Cela couvre approximativement plus de 95 % des accidents et des kilomètres parcourus sur voie normale en Suisse. De plus, seuls sont pris en considération les accidents qui ont entraîné des dégâts d'au moins CHF 15 000.-.
 - Déraillements de trains de marchandises ou voyageurs en pleine course (sans mouvements de manœuvre, c.-à-d. que le train concerné circule avec un numéro) ainsi que collisions de trains de marchandises ou voyageurs en pleine course (avec numéro) avec un obstacle fixe ou durant une autre course (il peut aussi s'agir d'un mouvement de manœuvre).

Le tableau 3 répertorie les valeurs indicatives statistiques des accidents pris en considération ainsi que les kilomètres parcourus. Le taux annuel de déraillements ou de collisions par trains-kilomètres est présenté à la Figure 11. La tendance est clairement à la baisse jusqu'en 2005 ; ensuite, on constate plutôt des fluctuations annuelles et moins une tendance (même si l'on établit une moyenne sur plusieurs années). La figure présente aussi une courbe de tendance exponentielle telle qu'elle a été utilisée lors de la même analyse dans le cadre du *screening* 2011.

22 La composition comprenait au total 22 wagons. Six citernes ont déraillé, ce qui a provoqué l'écoulement de 25 tonnes d'acide sulfurique et de trois tonnes de solution de soude caustique. Le déraillement a été causé par un roulement qui n'avait pas été entretenu correctement lors du dernier service en 2011.

Jahr	Anzahl Unfälle							Laufleistung RZ + GZ (Mio. Zug-km)			Unfallraten (Unfälle pro Zug-km)		
	SBB und Thurbo			BLS			total	SBB und Thurbo	BLS	total	Entgleisung	Zusammenstoss	beide
	Entgleisung	Zusammenstoss	beide	Entgleisung	Zusammenstoss	beide							
1976	10	10	20	keine Angaben			20	92.3	keine Angaben	92.3	1.1 E-7	1.1 E-7	2.2 E-7
1977	17	12	29				29	93.7		93.7	1.8 E-7	1.3 E-7	3.1 E-7
1978	13	4	17				17	94.2		94.2	1.4 E-7	4.2 E-8	1.8 E-7
1979	9	8	17				17	95.0		95.0	9.5 E-8	8.4 E-8	1.8 E-7
1980	4	9	13				13	96.3		96.3	4.2 E-8	9.3 E-8	1.3 E-7
1981	12	4	16				16	96.1		96.1	1.2 E-7	4.2 E-8	1.7 E-7
1982	7	5	12				12	102.4		102.4	6.8 E-8	4.9 E-8	1.2 E-7
1983	8	8	16				16	106.6		106.6	7.5 E-8	7.5 E-8	1.5 E-7
1984	13	5	18				18	107.0		107.0	1.2 E-7	4.7 E-8	1.7 E-7
1985	15	6	21				21	106.6		106.6	1.4 E-7	5.6 E-8	2.0 E-7
1986	13	6	19				19	106.6		106.6	1.2 E-7	5.6 E-8	1.8 E-7
1987	14	7	21				21	107.4		107.4	1.3 E-7	6.5 E-8	2.0 E-7
1988	9	9	18				18	118.3		118.3	7.6 E-8	7.6 E-8	1.5 E-7
1989	13	7	20				20	119.0		119.0	1.1 E-7	5.9 E-8	1.7 E-7
1990	15	7	22	1	1	2	24	124.9	7.8	132.7	1.2 E-7	6.0 E-8	1.8 E-7
1991	8	6	14	1	0	1	15	124.9	7.9	132.8	6.8 E-8	4.5 E-8	1.1 E-7
1992	4	4	8	0	2	2	10	122.9	8.0	130.9	3.1 E-8	4.6 E-8	7.6 E-8
1993	5	4	9	0	0	0	9	121.5	7.8	129.3	3.9 E-8	3.1 E-8	7.0 E-8
1994	6	11	17	0	0	0	17	119.2	7.6	126.8	4.7 E-8	8.7 E-8	1.3 E-7
1995	3	3	6	0	1	1	7	116.8	7.4	124.2	2.4 E-8	3.5 E-8	5.6 E-8
1996	2	3	5	1	0	1	6	116.1	7.2	123.3	2.4 E-8	2.4 E-8	4.9 E-8
1997	6	5	11	1	0	1	12	116.8	7.6	124.4	5.6 E-8	4.0 E-8	9.6 E-8
1998	2	3	5	0	0	0	5	117.5	7.9	125.4	1.6 E-8	2.4 E-8	4.0 E-8
1999	5	1	6	1	1	2	8	121.4	7.2	128.6	4.7 E-8	1.6 E-8	6.2 E-8
2000	6	4	10	0	0	0	10	125.9	7.9	133.8	4.5 E-8	3.0 E-8	7.5 E-8
2001	2	4	6	0	0	0	6	129.6	8.4	138.0	1.4 E-8	2.9 E-8	4.3 E-8
2002	1	2	3	1	0	1	4	131.8	8.6	140.4	1.4 E-8	1.4 E-8	2.8 E-8
2003	6	3	9	0	0	0	9	136.0	8.9	144.9	4.1 E-8	2.1 E-8	6.2 E-8
2004	4	3	7	0	0	0	7	137.4	9.1	146.5	2.7 E-8	2.0 E-8	4.8 E-8
2005	3	4	7	0	1	1	8	153.8	9.3	163.1	1.8 E-8	3.1 E-8	4.9 E-8
2006	8	3	11	1	1	2	13	152.0	12.9	164.9	5.5 E-8	2.4 E-8	7.9 E-8
2007	1	2	3	2	0	2	5	153.4	13.2	166.7	1.8 E-8	1.2 E-8	3.0 E-8
2008	3	2	5	0	0	0	5	158.6	13.2	171.9	1.7 E-8	1.2 E-8	2.9 E-8
2009	2	1	3	0	0	0	3	161.6	13.5	175.1	1.1 E-8	5.7 E-9	1.7 E-8
2010	3	4	7	0	1	1	8	163.5	13.7	177.2	1.7 E-8	2.8 E-8	4.5 E-8
2011	1	10	11	1	0	1	12	166.1	13.7	179.8	1.1 E-8	5.6 E-8	6.7 E-8
2012	1	6	7	0	3	3	10	166.4	13.8	180.2	5.5 E-9	5.0 E-8	5.5 E-8
2013	2	14	16	0	1	1	17	171.0	13.5	184.5	1.1 E-8	8.1 E-8	9.2 E-8
2014	0	2	2	0	1	1	3	174.3	13.5	187.8	0.0 E+0	1.6 E-8	1.6 E-8
2015	3	5	8	0	2	2	10	175.8	13.6	189.4	1.6 E-8	3.7 E-8	5.3 E-8
2016	1	0	1	0	1	1	2	179.3	13.9	193.2	5.2 E-9	5.2 E-9	1.0 E-8
2017	3	3	6	1	3	4	10	177.9	14.2	192.1	2.1 E-8	3.1 E-8	5.2 E-8
2018	2	5	7	0	0	0	7	178.0	13.9	191.9	1.0 E-8	2.6 E-8	3.6 E-8
Summe / Mittel	265	179	431	9	8	17	448	4'247	195	4'442	6.5 E-8	4.6 E-8	1.1 E-7

Tableau 3 : Nombre annuel de déraillements et de collisions, prestation kilométrique (en trains-kilomètres), par chemin de fer (CFF avec Thurbo, BLS) et taux d'accidents

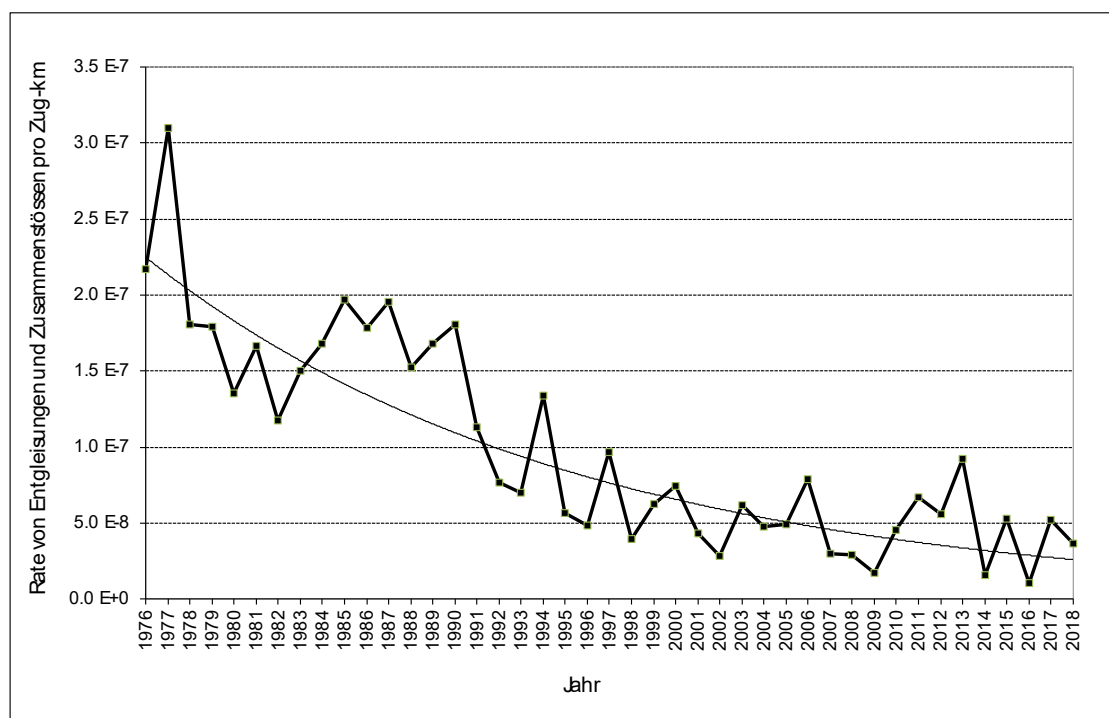


Figure 11 : Évolution dans le temps du quotient du nombre annuel de déraillements et de collisions et de la prestation kilométrique correspondante en trains-kilomètres (conformément au Tableau 3, colonne de droite)

Sur la base des données ci-dessus (fréquence d'accidents majeurs, Tableau 3, courbe de tendance à la Figure 11) et des valeurs issues de la même analyse effectuée dans le cadre du *screening* 2011 (tendances à la fin 2010), il en résulte les comparaisons suivantes par rapport au dernier *screening* :

- Fréquence annuelle d'accidents majeurs 1976-2010 : $6/35/A = 0,171/A$
idem pour la période 1976-2018 : $7/43/A = 0,163/A$
→ Recul d'un facteur 0,95 depuis 2010
- Valeur moyenne 1976-2010²³ : $1,11 \cdot 10^{-7}/\text{trains-km}$
Tendance 2010 : $3,12 \cdot 10^{-8}/\text{trains-km}$ (cf. [3], fig. 2)
→ Quotient de la tendance et de la valeur moyenne : 0,281

Valeur moyenne 1976-2018 : $9,95 \cdot 10^{-8}/\text{trains-km}$
Tendance 2018 : $2,75 \cdot 10^{-8}/\text{trains-km}$ (cf. Figure 11)
→ Quotient de la tendance et de la valeur moyenne : 0,276

- Il en résulte les tendances ci-après en ce qui concerne la fréquence annuelle d'accidents majeurs :
2010 : $0,171/A \cdot 0,281 = 0,0482/A$ (soit un événement tous les 20,8 ans)
2018 : $0,163/A \cdot 0,276 = 0,0450/A$ (soit un événement tous les 22,1 ans)
→ entre 2010 et 2018, la fréquence des accidents majeurs est réduite du facteur $0,045/0,0482 = 0,934$

Sur la base de l'analyse ci-dessus, la fréquence de propagation par wagons-citernes-km diminue d'un facteur 0,934 par rapport aux valeurs du *screening* 2011²⁴. La variation est faible et ne s'élève qu'à env. 7 %. Ce calcul corrobore l'impression visuelle donné par la Figure 11, selon laquelle la variation de la tendance de la fréquence des accidents par trains-kilomètres est insignifiante depuis 2005.

4.2.2 Influence de la vitesse maximale sur la fréquence de propagation

Lors du *screening* 2011, les calculs étaient basés – à quelques rares exceptions près pour des points présentant des risques particuliers – sur une vitesse maximale uniforme de 80 km/h en transport de marchandises dangereuses²⁵. La prise en compte de la valeur maximale locale (100 km/h sur 71 % du réseau de *screening* [cf. Figure 4]) et l'application des facteurs de

23 Issue de l'analyse de tendance du *screening* 2011, sur la base des données recensées entre 1976 et 2010, cf. [3].

24 Ces chiffres sont valables si les quantités de marchandises dangereuses transportées (en wagons-citernes-km) ne changent pas depuis 2010. Une augmentation des quantités transportées se traduirait par des fréquences de propagation plus élevées sur tout le réseau.

25 Depuis décembre 2008, les trains de marchandises peuvent circuler à 100 km/h (au lieu de 80 km/h). En 2011 (année de référence du dernier *screening*), la vitesse maximale valable la plus fréquente était sans doute déjà de 100 km/h au lieu de 80 km/h, mais cela n'a pas été pris en compte dans le *screening* 2011.

correction font augmenter le calcul de la fréquence de propagation sur l'ensemble du réseau. Un calcul comparatif basé sur les valeurs du *screening* 2018, effectué une fois avec les vitesses du *screening* 2011 (valeur standard 80 km/h) et une fois avec les valeurs de la Figure 5, aboutit à une augmentation de la fréquence des accidents majeurs de 13 %.

Dans la statistique des accidents des chemins de fer, rien n'indique que l'introduction d'une vitesse plus élevée en transport de marchandises depuis décembre 2008 aurait entraîné une augmentation significative de la fréquence des déraillements ou des collisions ; cela est probablement dû, entre autres, à diverses mesures de sécurité compensatoires. Il n'y a donc pas lieu de supposer que les propagations ont augmenté (par ex. du fait d'une probabilité plus élevée de fuites lors de certains accidents).

Si, comme dans le cas présent, on peut supposer que la fréquence des accidents majeurs sur l'ensemble du réseau ne change pas, il faut réviser les facteurs de correction destinés à la prise en compte des vitesses maximales locales de sorte que la fréquence calculée de propagation sur l'ensemble du réseau reste constante²⁶. C'est pourquoi l'augmentation susmentionnée de 13 % est compensée par un facteur de correction, indépendant du lieu, de $1/(1+0,13) = 0,885$.

4.2.3 Influence de la densité de branchements sur le taux de propagation

De manière similaire à la prise en compte supplémentaire de la vitesse maximale locale en transport de marchandises, la modification de la définition de la grandeur d'influence « Densité de branchements » implique une correction qui doit être mise en œuvre de sorte que la fréquence de propagation annuelle cumulée sur l'ensemble du réseau ne varie pas.

Les explications ci-après se rapportent au recensement de la densité de branchements sur une distance de 150 m à partir du point central d'un sous-élément, dans les deux sens de circulation. L'expérience des auteurs permet d'affirmer que la corrélation de la distance entre l'emplacement d'un branchement et le lieu de propagation est nettement plus forte sur une distance de 150 m que sur une distance de 500 m, et ce, pour les raisons suivantes :

- La différence entre les échelles de longueur de 150 m et de 500 m est particulièrement marquée dans les gares, c'est-à-dire entre les zones d'entrée et de sortie, qui comprennent de nombreux branchements (il en résulte une densité de branchements moyenne ou élevée pour pratiquement tous les itinéraires de fret), et les zones de quais d'une longueur allant jusqu'à 500 m, où il n'y a pratiquement pas de branchements. Si l'on tient compte du nombre de branchements sur 2×150 m, la densité

²⁶ En d'autres termes, les facteurs de correction doivent être fixés de sorte que la moyenne sur l'ensemble du réseau soit égale à 1. Si l'on part des facteurs de correction actuels, qui reflètent de manière adéquate les différences relatives de la fréquence de propagation en fonction de la vitesse maximale (il n'y a du moins pas de nouvelles conclusions en la matière), il faut appliquer un facteur de mise à l'échelle supplémentaire.

est nulle dans la zone des quais. Par contre, si l'on considère 2*500 m, la densité de branchements entre les zones d'entrée et de sortie et bien au-delà (donc sur un total de 1,5 km) est en règle générale moyenne ou élevée. Cela corrèle avec l'expérience qui montre que les accidents ferroviaires sont nettement plus fréquents dans les zones d'entrée en gare et de sortie que dans les zones des quais.

- En règle générale, les lieux où se produisent des déraillements et des collisions entre deux trains sont souvent en partie liés à un branchement à proximité (ce qui ne signifie pas que le branchement est à l'origine du dégât, par ex. en raison d'une lame d'aiguille défectueuse)²⁷.
- Selon les auteurs, il n'est pas possible de justifier de manière concluante qu'une évaluation de la densité des branchements sur 2*500 m est significativement meilleure que le procédé d'évaluation appliqué jusqu'ici²⁸.
- L'évaluation de la densité des branchements sur un secteur de 2*150 m reflète mieux les différences en matière de fréquence d'accidents ferroviaires majeurs que l'évaluation sur un secteur de 2*500 m ; cette dernière lisserait trop fortement les risques. Or un lissage des risques ne doit avoir lieu qu'au moment de l'agrégation ou de l'établissement de la moyenne par segment et non lors du recensement des risques locaux.

L'attribution d'un facteur de pondération à chacune des trois catégories de densité de branchements « 0 », « 1 – 2 » et « > 2 » conformément au Tableau 2 s'effectue comme suit :

- Le facteur de correction de la catégorie « 0 » reste le même que celui appliqué lors du *screening* 2011.
- Le quotient entre les facteurs de correction des catégories « 0 » et « 1 – 2 » reste le même que pour le *screening* 2011 (c.-à-d. différence d'un facteur 10).
- Le facteur de correction de la catégorie « > 2 » est défini de sorte qu'après addition sur l'ensemble du réseau, il en résulte la même fré-

27 Types d'accidents (entre autres) en forte corrélation avec l'emplacement de branchements :

- Déraillements suite à un défaut du matériel roulant (un essieu peut dérailler n'importe où et être traîné, souvent sur une distance importante ; la plupart du temps le véhicule se renverse toutefois juste après le passage sur un branchement), du fait d'un petit rayon de courbure et d'autres facteurs désavantageux à la limite des valeurs tolérées (en général à faible vitesse), du fait d'une vitesse trop élevée (en général dans des zones à courbes étroites à proximité de branchements).
- Collisions train-train (par ex. prise en écharpe).
Les collisions d'un train avec un obstacle fixe ne sont pas liées aux branchements ; ces accidents sont toutefois rarement la cause d'une propagation, car c'est principalement la locomotive qui est touchée et rarement les wagons du train.

28 Selon les auteurs, le nouveau mode d'évaluation (sur un corridor de 2*5 m de part et d'autre de la ligne BDI au lieu d'un périmètre) constitue une nette amélioration (les groupes de branchements sur les voies parallèles ont moins de poids ou d'influence que les branchements le long des parcours typiques).

quence de propagation que pour les catégories de densité de branchements ou les facteurs de correction correspondants du *screening* 2011 (tous les autres attributs du *screening* 2018 étant appliqués).

À partir de l'extrapolation pour l'ensemble du réseau, pour garantir la condition ci-dessus, le facteur de correction pour la catégorie « > 2 » doit être approximativement deux fois plus grand que celui pour la catégorie « 1 – 2 » (lors du *screening* 2011, le quotient était 3).

4.2.4 Taux de propagation – résumé

Les corrections à prendre en compte par rapport aux taux de propagation indiqués dans le *screening* 2011 (cf. Tableau 4) se résument ainsi :

- Influence de la statistique des accidents majeurs et des accidents : réduction de tous les taux d'un facteur 0,934.
- Influence de la prise en compte additionnelle de la vitesse maximale locale par les facteurs donnés : multiplication de tous les taux par le facteur de correction 0,885, indépendamment de la vitesse maximale locale.
- Influence de l'adaptation des catégories de densité des branchements : pas de correction pour les catégories « 0 » ni « 1 – 2 », facteur 2 au lieu de 3 pour la différence entre les catégories « > 2 » et « 1 – 2 ». La nécessité d'adapter ce facteur résulte en premier lieu de la modification des parts relatives des trois catégories de densité des branchements.

Pour le *screening* 2018, il en résulte les taux de propagation ci-après conformément au Tableau 5.

Taux de propagation R_{LS} par wagon-citerne (plein) et 100 m			
Subst. repr.	Densité de branchements > 4	Densité de branchements 1 - 4	Pas de branchements
Essence	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$3,4 \cdot 10^{-11}$
Propane et chlore	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$3,4 \cdot 10^{-12}$

Tableau 4 : Taux de propagation par wagon-citerne et 100 m ($v = 80$ km/h) selon le *screening* 2011

Taux de propagation R_{LS} par wagon-citerne (plein) et 100 m			
Subst. repr.	Densité de branchements > 2	Densité de branchements 1 - 2	Pas de branchements
Es-sence ²⁹	$5,7 \cdot 10^{-10}$	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$2,9 \cdot 10^{-11}$
Propane et chlore	$5,7 \cdot 10^{-11}$	$2,9 \cdot 10^{-11}$	$2,9 \cdot 10^{-12}$

²⁹ Les substances représentatives pour les risques environnementaux sont soumises aux mêmes facteurs que la substance représentative « essence » (étant donné qu'il s'agit dans tous les cas de liquides transportées dans des wagons-citernes comparables).

Tableau 5 : Taux de propagation par wagon-citerne et 100 m (v = 80 km/h) selon le screening 2018

S'agissant de la prise en compte des vitesses différentes, les facteurs de correction appliqués dans les *screenings* précédents restent valables.

4.3 Prise en compte de la vitesse maximale pour la substance représentative « chlore »

Pour la substance représentative « chlore », les vitesses de transport maximales admises sont différentes, ce qui doit être pris en compte dans la détermination des risques :

- Chlore élémentaire (Cl₂, n° ONU 1017) : max. 40 km/h.
- Pour toutes les autres substances appartenant à la substance représentative « chlore » : vitesse maximale normale admise en transport de marchandises.

Les deux restrictions de la vitesse locale peuvent être prises en compte correctement en appliquant les facteurs de correction pondérés à l'aide des quantités transportées relatives.

Exemple : à Pratteln, 37% du tonnage transporté est du chlore. La vitesse maximale autorisée est de 100 km/h. Le facteur de correction pour la vitesse maximale admise pour la substance représentative chlore est donc :

$$K_{SR \text{ chlore}} = 0.37 * K_{40 \text{ km/h}} + (1-0.37) * K_{100 \text{ km/h}} = 0.37 * 0.1 + 0.63 * 1.3 = 0.86$$

Comme la version actuelle du TgG 2.1 ne prévoit pas la sauvegarde de la part de Cl₂ dans la substance représentative « chlore » et comme aucune adaptation de la banque de données afférente n'est prévue dans le cadre du projet, on utilise la grandeur d'influence « part de wagons-citernes pour chlore améliorés du point de vue technico-sécuritaire »³⁰. Le nom est adapté en conséquence dans les tableaux Excel (données et résultats téléchargés) et est désormais « part de chlore dans la substance représentative 'chlore' »³¹.

30 La part de wagons-citernes de la 1^{re} génération destinés au transport de chlore et améliorés sur le plan technico-sécuritaire (c.-à-d. au sens de la déclaration conjointe I (cf. [7]) est toujours de 100 %, de sorte que ce facteur n'est plus utilisé.

31 Ce nom n'est pas adapté dans l'instrument d'information (TgG), car cela impliquerait une intervention dans le code programme.

5. Sources

- [1] OFT, Office fédéral de l'environnement (OFEV), CFF SA, BLS SA, « Screening-Tool TgG2.1 », accès via <http://www.screening-tggbahn.ch/TgG20.Web/>
- [2] OFT, CFF SA, BLS SA, OFEV, Partenariat RCAT; « Risques pour la population liés au transport ferroviaire de marchandises dangereuses – Estimation actualisée des risques sur l'ensemble du réseau (*screening* 2011) », Ernst Basler + Partner AG (désormais : EBP Suisse SA), décembre 2011
- [3] OFT ; « Documentation scientifique *Screening* des risques du rail pour la population 2011 », Ernst Basler + Partner AG (désormais : EBP Suisse SA), février 2014
- [4] Déclaration conjointe II de scienceindustries (Associations de Industries Chimie Pharma Biotech), des CFF SA, de l'association VAP (Verband der verladenden Wirtschaft), de l'OFT et de l'OFEV sur la réduction des risques auxquels la population est exposée lors du transport de chlore en wagons-citernes ([Link](#))
- [5] CFF, direction d'exploitation ; « Étude de risque pour le transport de marchandises dangereuses », cas de figure conformément à l'ordonnance sur les accidents majeurs, annexes au rapport final de février 1998, Ernst Basler + Partner AG (désormais : EBP Suisse SA)
- [6] Sous-groupe de travail « Critères d'évaluation des voies de communication ; « Étude de risque pilote pour le transport de marchandises dangereuses – cas de figure Rail », Ernst Basler + Partner AG (désormais : EBP Suisse SA), mai 1998
- [7] Déclaration conjointe de la Société suisse des industries chimiques (SSIC), des CFF SA et du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) sur la réduction des risques inhérents au transport de marchandises dangereuses à très haut potentiel de dommages tels le chlore et le dioxyde de soufre, 27 juin 2002 ([Link](#))