Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final du 28 février 2019

Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Étude du DETEC













Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Date: 28 février 2019

Lieu: Zurich

Client:

Office fédéral de l'énergie OFEN CH-3003 Berne www.bfe.admin.ch

Mandataire:

EBP Schweiz AG Mühlebachstrasse 11, CH-8032 Zurich www.ebp.ch

Auteurs:

Matthias Kruse, EBP, <u>matthias.kruse@ebp.ch</u>
Martin Schuster, EBP, <u>martin.schuster@ebp.ch</u>
Christof Egli, EBP, <u>christof.egli@ebp.ch</u>
Simon Ambühl, EBP, <u>simon.ambuehl@ebp.ch</u>
Toni Wunderlin, Axpo, <u>toni.wunderlin@axpo.com</u>

Membres du groupe de travail du DETEC :

Mattia Cattaneo (ARE), Bendicht Hirschi (OFROU), Günter Hofer (OFROU), Peter Mayer (OFT), Olivier Klaus (OFEN), Peter Kreissig (ESTI), Andreas Wingerter (ESTI), Benedikt Aeberhardt (CFF), Sandro Dinser (Swissgrid), Philippe Meuli (Swissgrid)

Responsable de domaine à l'OFEN: Mohamed Benahmed, responsable Réseaux,

mohamed.benahmed@bfe.admin.ch

Direction de programme à l'OFEN : Martin Michel, chef de projet Réseaux,

martin.michel@bfe.admin.ch

Numéro de contrat OFEN: SI/200290-01

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen ; adresse postale : CH-3003 Berne Tél. +41 58 462 56 11 Fax +41 58 463 25 00 <u>contact@bfe.admin.ch</u> www.bfe.admin.ch



Table des matières

Sy	nthèse		7
1	Ma	andat et objectifs	13
	1.1	Cahier des charges	13
	1.2	Limites	13
2	Fo	ndements	15
	2.1	Situation initiale	15
	2.2	Bases légales	17
	2.3	Planification sectorielle	17
	2.4	Procédure d'approbation des plans	17
	2.5	Terminologie	18
3	Inf	rastructures et agencements de regroupement possibles	19
	3.1	Rapports de propriété	19
	3.2	Infrastructures de support	19
	3.3	Infrastructures électriques	20
	3.3.1	Niveaux de réseau	20
	3.3.2	Types de lignes étudiés	21
	3.4	Agencements de regroupement selon le profil de l'ouvrage	22
	3.5	Agencements pertinents / non pertinents	24
4	Co	nditions-cadres et contexte pour le regroupement	33
	4.1	Conditions-cadres de la logistique des câbles	33
	4.1.1	Accessibilité dans les tunnels routiers	33
	4.1.2	Accessibilité dans les tunnels ferroviaires	33
	4.1.3	Accessibilité dans les tronçons à ciel ouvert	34
	4.1.4	Accessibilité aux ponts	
	4.1.5	Dimensions et poids des câbles à transporter	34
	4.2	Espace utile pour l'installation de câblage	
	4.3	Contraintes relatives aux routes	39
	4.3.1	Contraintes juridiques	39
	4.3.2	Cycle d'entretien de la route	
	4.3.3	Aménagements constructifs	
	4.3.4	Équipements d'exploitation et de sécurité (EES)	42



4.3.5 Installations d'autosauvetage et de sauvetage par des tiers des usagers d			
	4.3.6	Installation de chantier sur les autoroutes et les semi-autoroutes	43
	4.4	Contraintes relatives aux chemins de fer	43
	4.4.1	Contraintes juridiques	43
	4.4.2	Cycle d'entretien des chemins de fer	44
	4.4.3	Contraintes constructives	44
	4.4.4	Équipement électrotechnique des infrastructures ferroviaires	45
	4.4.5	Installations d'autosauvetage et de sauvetage par des tiers des usagers l'infrastructure ferroviaire	
	4.4.6	Fermetures de tronçons	46
	4.5	Contraintes relatives au courant électrique	47
	4.5.1	Contraintes juridiques	47
	4.5.2	Cycle d'entretien des systèmes de câbles	47
	4.5.3	Équipement électrotechnique de l'installation de câblage	48
	4.5.4	Dispositifs techniques secondaires pour la surveillance et l'exploitation	50
	4.5.5	Dispositions liées à l'exploitation	50
	4.6	Protection des usagers des transports	51
	4.7	Sécurité au travail	52
	4.8	Influence réciproque	55
	4.9	Évolution des risques en raison du regroupement	60
	4.9.1	Structure de l'analyse des risques	60
	4.9.2	Conclusions de l'analyse des risques	61
5	Ex	rigences liées au regroupement	65
	5.1	Conditions	65
	5.2	Exigences de réalisation technique	65
	5.2.1	Exigences générales	65
	5.2.2	Exigences pour les batteries de tubes situées dans un tunnel (agencements A et	,
	5.2.3	Exigences pour les galeries techniques et de sécurité (agencements A et B)	76
	5.2.4	Exigences pour les batteries de tubes situées sous / à côté de la voie de circulati (agencements E et F)	
	5.2.5	Exigences pour les ponts (agencement G)	89
	5.3	Exigences relatives à l'exploitation et à l'entretien	91



	5.3.1	Exploitation et sécurité	91
	5.3.2	Travaux d'entretien et de maintenance	93
6	Co	nclusions sur la faisabilité du regroupement	96
	6.1	Faisabilité du regroupement	96
	6.2	Coordination de la planification et de la réalisation	98
	6.3	Regroupement de niveau de réseau 3 et 5	99
7	Po	ssibilités d'action réglementaires	101
	7.1	Besoins d'adaptation des lois / ordonnances	101
	7.1.1	Situation initiale	101
	7.1.2	Considérations	101
	7.1.3	Possibilités d'action	102
	7.2	Besoins d'adaptation des réglementations techniques	103
	7.2.1	Situation initiale	103
	7.2.2	Considérations	103
	7.2.3	Possibilités d'action	103
	7.2.1	Procédure recommandée pour réduire les incertitudes	104
List	te des ab	réviations et acronymes	105
Bib	liographi	e, droit fédéral et réglementations techniques	106
An	nexes		
Anr	nexe 1 :	Fiches techniques sur les agencements de regroupement	
Anł	nang 2:	Abgrenzung der Anordnungen E und F bei einer Nationalstrasse, Anordnungen Einer Eisenbahnstrecke	rdnung F bei
Anhang 3: Lösungsansätze zur Kabelverlegung in Werkleitungskanälen (Anordnu			A)

Pièces jointes

Anhang 4:

Pièce jointe 1: Aspects du droit procédural concernant l'autorisation d'infrastructures multifonctionnelles

Lösungsansatz zur Kabelverlegung in Sicherheitsstollen (Anordnung D)

Beilage 2: Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen



Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Photos de couverture

En haut à gauche : Route nationale A2, tunnel routier du Saint-Gothard En haut à droite : Route nationale A4 près de Hünenberg, canton de Zoug

En bas à gauche : Tunnel de base du Lötschberg, tirage de câbles En bas au centre : Galerie de câbles dans la sous-station de Mühleberg

En bas à droite : Route nationale A3, Galerie technique dans le tunnel de l'Uetliberg



Synthèse

<u>Cahier des charges</u>: La présente étude « Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires », qui a été élaborée à la demande du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), doit clarifier les exigences en matière de construction, de technique, d'exploitation, d'entretien et de sécurité, ainsi que les influences réciproques. Axée pour les routes nationales sur les autoroutes, pour les voies ferrées sur les lignes ferroviaires à voie normale et étroite, et pour les lignes de transport d'électricité sur le réseau 50 Hertz 380/220 kV, l'étude se concentre sur le regroupement d'infrastructures de transport avec des installations de câblage et non avec des lignes aériennes.

<u>Participants au projet</u>: La présente étude a été élaborée sous la direction de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) avec le soutien d'EBP Schweiz AG. Y ont également contribué les Offices fédéraux du développement territorial (ARE), des routes (OFROU), des transports (OFT), l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI), le gestionnaire national du réseau Swissgrid et les CFF. Pour clarifier les questions de procédure dans le cadre du processus d'autorisation lié au regroupement des lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires, un groupe de travail interne du DETEC a élaboré un rapport complémentaire « Questions de procédure liées à l'approbation des infrastructure multifonctionnelles » (voir annexe 1).

<u>Situation de départ</u>: Dans son rapport sur le postulat 08.3017 Rechsteiner « Routes nationales multifonctionnelles pour préserver le paysage », le Conseil fédéral a estimé que le principe du regroupement d'infrastructures était conforme aux objectifs et aux principes de planification de la Loi sur l'aménagement du territoire (LAT). Le regroupement contribue à la préservation des paysages et à une utilisation mesurée du sol. Le regroupement des infrastructures revêt incontestablement une importance considérable pour permettre un développement des infrastructures, sans délai et sans concession sur la qualité, tout en préservant la ressource que constitue le sol.

<u>Base légale</u>: Sur la base de la LAT, en cas de planification d'activités ayant des effets sur l'organisation du territoire, les autorités doivent examiner quelles possibilités permettent de garantir une utilisation mesurée du sol, de réduire à un minimum les atteintes à l'environnement et de réaliser une occupation plus rationnelle du territoire. La possibilité d'un regroupement des infrastructures ou de leur utilisation multifonctionnelle doit par conséquent être systématiquement examinée lors de la planification. Les exploitants d'infrastructures ne sont toutefois pas soumis à une obligation légale directe de regrouper leurs infrastructures avec d'autres ou de développer des projets en ce sens.

<u>Procédure d'approbation des plans</u>: Pour les projets de regroupement, la procédure d'approbation des plans pour le projet global (infrastructure de support et ligne de transport d'électricité) est toujours menée par l'autorité directrice compétente pour l'autorisation de l'infrastructure de support (voie ferrée ou route nationale). Cette autorité directrice est par conséquent soit le DETEC, soit l'OFT. Dans le cadre de tels projets de regroupement, l'ESTI et l'OFEN seront simplement consultés en qualité d'autorités compétentes pour l'approbation des plans d'installations électriques.

Rapports de propriété : Dans le cadre d'un regroupement, il convient généralement de considérer la route ou la voie ferrée comme infrastructure de support et la ligne de transport d'électricité comme infrastructure secondaire (le transport d'électricité est une co-utilisation). Ceci s'applique tout particu-



lièrement lorsque la route ou la voie ferrée existait avant le projet de regroupement. L'infrastructure de support est alors généralement la propriété de la Confédération ou d'une entreprise ferroviaire. Le gestionnaire national du réseau Swissgrid n'a actuellement pas l'ambition de devenir propriétaire de l'infrastructure de support. Le principe d'une utilisation conjointe lui convient.

Agencements de regroupement selon le profil de l'ouvrage : Dans le cadre de cette étude, diverses possibilités de réalisation technique de l'agencement de la ligne de transport d'électricité dans l'infrastructure de support ont été examinées. Une distinction a été faite entre les routes et les voies ferrées, ainsi qu'entre les tunnels, les ponts et les tronçons ouverts. Au terme de recherches approfondies sur des projets similaires, nationaux et internationaux, les conditions-cadres et le contexte des différents agencements (accessibilité, espace utile, contraintes, protection des usagers des moyens de transport, sécurité du travail, influence réciproque et modification des risques) ont été analysés. Dans un second temps, les exigences du regroupement (en termes de réalisation technique, mais aussi d'exploitation et d'entretien) et les mesures possibles ont été étudiées.

<u>Faisabilité d'un regroupement :</u> En respectant les exigences établies dans cette étude, le regroupement de câbles à haute tension 380/220 kV avec des infrastructures routières et ferroviaires est techniquement réalisable. Une distinction s'impose toutefois. Tous les agencements n'offrent pas la même adéquation pour un regroupement ou une utilisation multifonctionnelle. De plus, la réalisation n'est généralement possible que si les deux infrastructures sont construites simultanément ou si l'infrastructure de support fait l'objet d'un assainissement global. Il en ressort que la réalisation d'un faisceau de câbles de bout en bout pourrait prendre plusieurs décennies dans le cas des autoroutes. Les conditions de construction standard actuelles des infrastructures de support devraient permettre de respecter les valeurs limites d'immissions de 100 μT pour la densité de flux magnétique, fixées par l'Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI), avec la plupart des agencements en mode de fonctionnement normal.

Tableau A : Évaluation de la pertinence des agencements

Section		Route	Chemin de fer
Agencement A	Tunnel	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'assainissement global.	Inapproprié par manque de place dans les tunnels ferroviaires. N'a pas été approfondi.
Agencement B	Tunnel B.	Inapproprié par manque de place dans les tunnels routiers. N'a pas été approfondi.	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simulta- née des infrastructures.
Agencement C	Tunnel	Inapproprié pour des considérations de sécurité. N'a pas été approfondi.	



Section		Route	Chemin de fer	
Agencement D	Tunnel	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'ajout ultérieur d'une galerie parallèle (p. ex. une galerie de sécurité).		
Agencement E	Tronçon ouvert	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'assainissement global, dans des cas particuliers et quand les chambres de jonction se trouvent en dehors de la chaussée / bande d'arrêt d'urgence.	Conformément à l'ordonnance sur les installations à courant fort, les lignes câblées qui ne servent pas à l'exploitation ferroviaire doivent être posées en dehors de la zone des voies et des supports de ligne servant à l'alimentation électrique de l'installation de traction. N'a pas été approfondi.	
Agencement F	Tronçon ouvert	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'assainissement global. Pour une infrastructure de support en cours d'exploitation, si l'accès (au chantier) se fait latéralement via les terrains adjacents.	Pertinence relative : L'espace à côté d'une voie ferrée est souvent réduit. De plus, d'autres restrictions s'appliquent. Uniquement pertinent en cas de construction simultanée des infrastructures (nouvelle ligne).	
Agencement G	Pont	Pertinence relative : De par leur structure porteuse, les ponts présentent une très grande variété de formes, ce qui constitue une chance mais implique aussi des contraintes. Pertinent en cas de construction simultanée des infrastructures.		

Évolution des risques en raison du regroupement: Avec certains scénarios, le regroupement peut conduire à des risques légèrement plus importants. Ceci concerne notamment les scénarios « collision » et « incendie » dans un tunnel routier, où l'ampleur des dégâts peut être supérieure en cas de regroupement. Dans le cas d'un tunnel ferroviaire, ces scénarios se traduisent par des différences similaires, mais avec un risque sensiblement moindre. Il en va de même pour les autres scénarios déterminants que sont les « tremblements de terre » et les « inondations ». Les risques monétisés demeurent à un niveau modéré pour l'ensemble des scénarios.



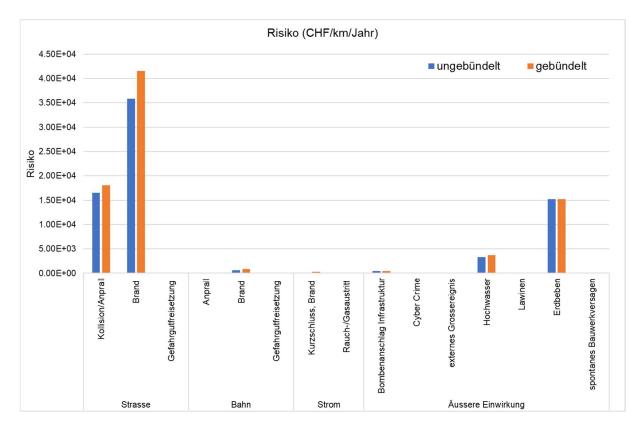


Figure A : Risques des scénarios étudiés (monétarisés, normalisés sur une distance de 1 km, par année)

Évaluation des agencements de regroupement du point de vue de la sécurité : Les différentes possibilités d'agencement en cas de regroupement ont fait l'objet d'une comparaison qualitative. Du point de vue de la sécurité, on estime préférable une séparation spatiale aussi importante que possible entre les deux infrastructures regroupées. C'est pourquoi, dans un tunnel, les agencements A et D sont jugés plus adéquats que l'agencement B, tandis qu'à ciel ouvert l'agencement F est préféré à l'agencement E.

Coordination de la planification et de la réalisation : La coordination anticipée du processus de planification entre l'infrastructure de support et la ligne de transport d'électricité est un facteur central de succès du regroupement. Ceci est indispensable, car les délais de planification et les procédures d'approbation de l'infrastructure de support et de la ligne de transport d'électricité peuvent fortement différer. La réussite des projets de regroupement nécessite également des déclarations d'intention réciproques. Dans la mesure du possible, les projets de regroupement devraient être élaborés en parallèle par les exploitants des deux infrastructures concernées et le niveau de détail de la planification du projet de ligne électrique devrait être aussi similaire que possible à celui du projet d'infrastructure de transport, comme le montre le tableau B.

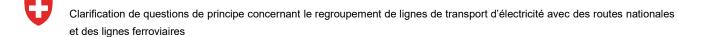


Tableau B : Déroulement recommandé de la planification en cas d'utilisation multifonctionnelle

Phase du		Compétence	
projet	Prestations principales	Infrastructure de support	Swissgrid
Étude	 Étude des variantes de technologies de transport d'électricité 		Х
	 Définition des exigences du système pour le trans- port d'électricité 		Х
	 Dimensionnement préalable du profil de l'ouvrage / des éléments structurels 	X	Χ
Avant-projet	 Élaboration de concepts généraux de ventilation / refroidissement, mise à la terre et compensation de potentiel, sécurité / protection incendie, logistique des câbles 	Х	X
	Raccordement au réseau aérien	X	X
	Dimensionnement électrotechnique		Х
	Dimensionnement structurel	X	
	 Coordination des interfaces, telles que la logistique des câbles, la ventilation 	X	X
Projet de	 Conception générale de la ventilation 	X	
construction et de mise à l'enquête	 Conception de la ventilation pour la galerie tech- nique servant au transport d'électricité et refroidis- sement des lignes câblées 		Х
	 Calculs et attestations concernant la compensation de potentiel et de mise à la terre 	Х	Χ
	 Logistique de construction, y compris logistique des câbles 	Х	Х

Regroupement de lignes électriques des niveaux de réseau 3 ou 5 : Le regroupement du réseau électrique des niveau 3 ou 5 avec des routes nationales ou des lignes de chemin de fer n'a pas été examiné dans le cadre cette étude. Ce type de regroupement semble cependant tout à fait réalisable et pertinent sous certaines conditions.

<u>Besoins d'adaptation des lois et des ordonnances :</u> En matière de regroupement d'infrastructures, les dispositions légales font défaut dans certains domaines (p. ex. étude du potentiel de regroupement, examen de projets de regroupement concrets, obligation de coordination de la planification, réglementation de la prise en charge d'éventuels préfinancements et surcoûts). L'adaptation des textes légaux correspondants permettrait de favoriser le regroupement d'infrastructures.



Besoins d'adaptation des réglementations techniques: Des besoins d'adaptation ont également été constatés au niveau de la réglementation technique (ex. commentaires sur les ordonnances 3 et 4 relatives à la Loi sur le travail, norme SIA 205), où une clarification du champ d'application des différentes dispositions serait souhaitable pour certaines zones de chevauchement. Jusqu'à présent, cette situation ne revêtait guère d'importance étant donné que les cas d'utilisation multifonctionnelle entre des lignes de transport d'électricité et des routes nationales ou des lignes de chemin de fer restent rares. De plus, les différentes réglementations se concentrent jusqu'ici uniquement sur les câbles spécifiques à l'exploitation des infrastructures routières ou ferroviaires.

Cette étude soulève le besoin de clarification des réglementations techniques, mais n'est pas en mesure de garantir elle-même une quelconque certitude juridique. La décision définitive concernant l'interprétation des réglementations contradictoires doit être prise par les autorités d'autorisation dans le cadre d'un projet de regroupement concret, après avoir entendu l'ensemble des parties concernées.



1 Mandat et objectifs

1.1 Cahier des charges

La présente étude « Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des voies ferrées » a été lancée afin de clarifier de façon exhaustive les exigences en matière de construction, de technique, d'exploitation, d'entretien et de sécurité en cas de regroupement des infrastructures susmentionnées. Le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) a chargé l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) d'élaborer une étude correspondante en concertation et en collaboration avec les offices fédéraux concernés du DETEC.

Cette étude doit servir de base aux autorités et aux auteurs de projets pour clarifier les exigences en matière de construction, de technique, d'exploitation, d'entretien et de sécurité, lors de la planification et de l'autorisation de futurs projets de regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des voies ferrées. À cet égard sont considérées comme routes nationales avant tout les autoroutes, comme voies ferrées les lignes ferroviaires à voie normale et étroite, et comme lignes de transport d'électricité le réseau 50 Hertz 380/220 kV du niveau 1 (NR 1)¹.

L'étude doit établir l'influence réciproque des infrastructures regroupées, en mode de fonctionnement normal, lors de l'entretien, ainsi qu'en cas d'événement d'exploitation exceptionnel. Par ailleurs, elle doit déterminer les conditions-cadres et les exigences requises (mesures structurelles, préventives et procédurales) pour une exploitation en toute sécurité. À cet égard, il convient de prendre en considération les nouvelles constructions ainsi que les infrastructures assainies et transformées.

1.2 Limites

Les aspects ci-après n'ont pas fait l'objet d'un examen spécifique dans le cadre de l'étude :

- d'autres infrastructures, telles que les conduites de gaz et de pétrole ou les réseaux de fibres optiques,
- un regroupement au moyen d'un système de câblage avec le réseau 132 kV (16,7 Hertz) de transport de l'énergie de traction (explication : voir chapitre 2.1),
- un regroupement des routes nationales et des voies ferrées entre elles,
- les critères d'évaluation paysagère des projets de regroupement et
- les considérations sectorielles (p. ex. examen de la stabilité du réseau 50 Hertz)

Le niveau de réseau 1 (NR 1) désigne le réseau de transport d'électricité exploité avec une tension maximum de 380/220 kV. Depuis janvier 2013, sa planification, sa construction, son entretien et son exploitation sont assurés par le gestionnaire national du réseau Swissgrid.



Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Le tracé des lignes aériennes parallèlement aux routes et aux voies ferrées fait par principe partie intégrante de la thématique du « regroupement ». Cependant, cette forme de regroupement correspondant déjà à une pratique largement répandue, elle n'est pas mise en lumière par cette étude. La présente étude est uniquement axée sur le regroupement des infrastructures de transport avec les câbles du réseau électrique.

La technologie du courant continu est exclue car, n'étant économiquement rentable que sur les longues distances de transmission, elle n'est pas adaptée à la situation en Suisse.



2 Fondements

2.1 Situation initiale

En tenant compte des conditions-cadres particulières de la Suisse, tels que la topographie, la forte densité de population du Plateau suisse, les exigences élevées vis-à-vis des infrastructures ou encore la lenteur de développement des réseaux électriques, le regroupement d'infrastructures – à savoir des lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des voies ferrées – peut contribuer à la préservation des paysages et à une utilisation mesurée du sol. Ces questions de durabilité revêtent sans conteste une importance considérable pour permettre un développement des infrastructures sans délai et sans concession sur la qualité.

C'est pourquoi, le 4 mars 2008, le Conseil fédéral a validé le postulat Rechsteiner et a mandaté un rapport d'expertise technique. En date du 21 juin 2017, il a validé le rapport récapitulatif du postulat 08.3017 Rechsteiner « Routes nationales multifonctionnelles pour préserver le paysage » [1]. Celui-ci conclut que le regroupement des infrastructures est techniquement réalisable. Toutefois, il est généralement perçu comme coûteux et complexe en termes de coordination. Le rapport fait également le constat que le principe du regroupement des réseaux d'infrastructure est conforme aux objectifs et aux principes de planification de la Loi sur l'aménagement du territoire (LAT) et figure aussi dans la plupart des plans sectoriels de la Confédération. Malgré cela, ce principe n'a été pris en compte que dans de rares cas pour le regroupement des lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des voies ferrées. En outre, des questions concrètes se posent également au sujet des contraintes et des exigences ayant trait à la réalisation d'un tel projet.

On compte encore très peu d'exemples concrets de mutualisation des infrastructures routières, ferroviaires et électriques, en particulier pour le niveau à très haute tension 380/220 kV. Les rares installations en cours d'exploitation en Suisse ou dans des pays voisins concernent principalement le niveau de réseau inférieur 3² ³. En 2001 a été mis en service un court tronçon du câblage de la ligne aérienne 220 kV, qui longe la route nationale A1, passant sous le bâtiment Palexpo grâce à la technologie LIG (voir chapitre 3.3.2). À l'étranger, des liaisons câblées transfrontalières à longue distance basées sur la technologie du courant continu ont récemment été réalisées le long de voies ferrées, de routes nationales voire de routes secondaires. Le passage sous les Pyrénées ou les Alpes s'effectue dans le premier cas via une galerie de câbles creusée parallèlement au tunnel ferroviaire du Perthus et dans l'autre cas dans une gaine technique intégrée à un nouveau tunnel autoroutier (tunnel de Fréjus).

² Installation de câblage 60 kV dans le tunnel du San Bernardino (Suisse)

³ Installation de câblage 110 kV dans le tunnel du Pfänder (Autriche)

Interconnexion électrique France/Espagne entre Baixas et Santa Llogaia, 65 km, mise en service en 2015

Interconnexion électrique Italie/France (projet Savoie-Piémont), 190 km, mise en service prévue autour de la fin 2019



Contrairement au réseau 50 Hertz, le regroupement avec des systèmes de câbles du réseau électrique 132 kV (16,7 Hertz) sur le réseau ferroviaire suisse est déjà une pratique courante. Des installations de ce type sont exploitées dans le tunnel de base du Lötschberg et dans le tunnel du Simplon. Dans le tunnel de base du Zimmerberg I et dans le tunnel de base du Saint-Gothard, des batteries de tubes (de câbles) ont été prévues lors la construction mais n'ont pas encore été équipées à ce jour. Dans le tunnel de l'Albula II des Chemins de fer rhétiques, le tirage de câbles du réseau électrique 66 kV est prévu après l'achèvement du tunnel. Aussi longtemps que la problématique de la résonance persistera au sein du réseau électrique ferroviaire, l'alimentation en courant du réseau ferroviaire restera tributaire en Suisse d'une séparation claire des tronçons câblés. Une extension du câblage du réseau électrique 16,7 Hz n'est par conséquent par réalisable [2].

Le potentiel de mutualisation de différents projets fait actuellement l'objet d'un examen approfondi. Dans le cadre de la planification du 2e tube du tunnel routier du Saint-Gothard, l'Office fédéral des routes (OFROU) étudie son utilisation multifonctionnelle. L'intégration d'une galerie technique supplémentaire sous la chaussée permettrait la pose de lignes à haute tension, par exemple deux faisceaux de câbles 380 kV. Par ailleurs, des études préliminaires sont actuellement menées en vue du percement d'un nouveau tunnel ferroviaire à travers le massif du Grimsel, qui devrait également accueillir une ligne électrique. Ce projet prévoit la réalisation d'un système de tunnel commun pour une ligne à voie étroite entre Meiringen et Oberwald et pour une ligne à haute tension de 380 kV⁶. Au niveau du tunnel de l'Uetliberg et du secteur adjacent de la ramification de Zurich-Sud, des batteries de tubes et des chambres de jonction ont été installés pour permettre d'accueillir la future ligne 380/220 kV Wollishofen-Waldegg. Le corridor de câbles a été défini dans le Plan sectoriel des lignes de transport d'électricité (PSE) conformément à la décision du Conseil fédéral du 18 décembre 2015.

Outre l'énorme potentiel qu'offrent les nouvelles constructions, à moyen terme un potentiel de regroupement des infrastructures peut être mis en évidence lors des travaux d'entretien de grande ampleur (assainissements globaux) ou lors de la modification d'infrastructures existantes. L'existence de synergies géographiques et temporelles favorisant le regroupement d'infrastructures et l'identification en temps utile de ces synergies sont étudiées depuis 2018 au sein du groupe de travail « Potentiels géographiques de regroupement » de l'Office fédéral du développement territorial (ARE). Ce premier examen des synergies ne tient toutefois pas encore compte des aspects techniques, financiers et environnementaux.

Pour clarifier les questions de procédure dans le cadre du processus d'autorisation lié au regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires, un groupe de travail interne au DETEC a été créé. Ce dernier s'est penché d'une part sur la planification sectorielle et sur les processus connexes, et d'autre part sur les questions procédurales liées à l'autorisation des projets de regroupement faisant l'objet d'une procédure fédérale d'approbation des plans. Les résultats des travaux du groupe de travail interne du DETEC ont été consignés dans le rapport « Questions de procédure liées à l'approbation des infrastructures multifonctionnelles ».

Le projet « Tunnel du Grimsel » ne fait pas partie de l'étape d'aménagement 2035 du programme stratégique de développement des infrastructures ferroviaires (Message FF 2018 7321 ss.).



2.2 Bases légales

Sur la base des art. 1 et 3 de la Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT; RS 700) et conformément à article 2, paragraphe 1, point d de son ordonnance d'application (OAT; RS 700.1), en cas de planification d'activités ayant des effets sur l'organisation du territoire, les autorités doivent examiner en particulier quelles possibilités permettent de garantir une utilisation mesurée du sol, de réduire à un minimum les atteintes à l'environnement et de réaliser une occupation plus rationnelle du territoire. La possibilité d'un regroupement des infrastructures et/ou de leur utilisation multifonctionnelle doit par conséquent être systématiquement examinée lors de la planification.

Selon le rapport « Questions de procédure liées à l'approbation des infrastructures multifonctionnelles » (voir annexe 1), lors de la planification, cette exigence du droit d'aménagement du territoire n'est pas directement assortie de dispositions dans les lois spéciales correspondantes. Les exploitants d'infrastructures ne sont par conséquent pas soumis à une obligation légale directe de regrouper leurs infrastructures avec d'autres ou de développer des projets en ce sens. Dans les faits, les autorités d'approbation des plans ne peuvent guère rejeter un projet sans regroupement s'il est conforme au droit fédéral par ailleurs.

2.3 Planification sectorielle

Au niveau fédéral, les activités spécifiques aux secteurs sont effectuées dans le cadre des planifications sectorielles. Dans ses plans sectoriels, la Confédération montre comment elle prévoit d'accomplir ses tâches ayant des effets sur l'organisation du territoire dans un domaine sectoriel ou thématique, et précise les objectifs qu'elle poursuit ainsi que les conditions ou exigences qu'elle entend respecter. Sur la question du regroupement, les plans sectoriels pertinents sont les suivants :

- Plan sectoriel des transports, partie Infrastructure route (SIN)
- Plan sectoriel des transports, partie Infrastructure rail (SIS)
- Plan sectoriel des lignes de transport d'électricité (PSE)

Les conditions-cadres relatives à la planification sectorielle sont décrites en détail dans le chapitre 4 du rapport susmentionné.

2.4 Procédure d'approbation des plans

Conformément au rapport « Questions de procédure liées à l'approbation des infrastructures multifonctionnelles », pour les projets de regroupement, la procédure d'approbation des plans pour le projet global (infrastructure de support et ligne de transport d'électricité) est toujours menée par l'autorité directrice compétente pour l'agrément de l'infrastructure de support (voie ferrée ou route nationale). Cette autorité directrice est par conséquent soit le DETEC, soit l'OFT. Selon le groupe de travail interne du DETEC, il n'existe aucun cas où un projet de regroupement serait validé par l'ESTI ou l'OFEN. Dans le cadre de tels projets de regroupement, ces derniers seront simplement consultés en qualité d'autorités compétentess pour l'approbation des plans d'installations électriques Même lorsqu'il apparaît dès le départ que les deux infrastructures doivent être réalisées conjointement, il arrive régulièrement que la planification de certains aspects du projet ne puisse être finalisée qu'après le dépôt



de la requête d'approbation des plans. Dans certains cas, il peut être utile d'appliquer aux projets de regroupement un procédé d'approbation progressif ou séquentiel. Dans ces situations, une « disposition principale » peut clarifier l'ensemble des questions fondamentales et approuver le projet global. Les affinements du projet, qui n'ont en principe pas d'incidences supplémentaires sur des tiers par rapport au projet principal approuvé, peuvent ensuite être examinés et validés via une procédure ultérieure (projet détaillé). Les projets détaillés sont en principe approuvés via une procédure simplifiée. Ce procédé d'approbation séquentielle est possible dès aujourd'hui sur la base des dispositions légales en vigueur. La question centrale est d'identifier les aspects qui doivent être pris en compte dès la procédure principale. D'un point de vue juridique, il convient de noter que toutes les répercussions que pourraient avoir des infrastructures regroupées sur des tiers doivent être clarifiées dès la procédure principale. Ceci est important afin que toutes les parties concernées puissent bénéficier de leur droit d'être entendues. Par ailleurs, les exigences fondamentales applicables à la réalisation technique de l'infrastructure de transport et à son exploitation doivent avoir été clarifiées préalablement au dépôt de la requête d'approbation des plans de l'ouvrage principal, dans le cadre d'une étude de faisabilité. Ceci concerne en particulier les questions d'impacts environnementaux (rayonnements non ionisant) ainsi que les dépendances techniques des infrastructures regroupées lors de la construction (clarification des conditions requises pour le futur tirage des câbles, comme p. ex. pour l'évacuation de la chaleur dissipée par les lignes électriques), de l'exploitation (p. ex. la sécurité en cas d'incident) et de l'entretien (p. ex. l'accessibilité des éléments de l'installation pour l'entretien).

Lorsqu'un projet de regroupement est approuvé dans sa globalité, cela évite aussi la question de la durée de validité des différentes approbations de plan (puisque seule une disposition principale est émise). Pour de plus amples détails, nous renvoyons au rapport du groupe de travail « Droit ». Enfin, on peut relever que les dispositions procédurales existantes suffisent pour approuver des projets de regroupement dans le cadre d'une procédure de décision concentrée.

2.5 Terminologie

Regroupement d'infrastructures : par regroupement, la présente étude entend la proximité spatiale entre plusieurs infrastructures de transport ou d'énergie.

Utilisation multifonctionnelle d'infrastructures de transport : par l'expression « utilisation multifonctionnelle d'infrastructures de transport », la présente étude entend l'utilisation multiple des zones dédiées au transport routier ou ferroviaire, autrement dit le fait que les zones dédiées au transport incluent au moins un autre type d'infrastructure (« cas particulier d'un regroupement »).

Infrastructure de support : une infrastructure de support désigne l'infrastructure initialement planifiée ou réalisée. En règle générale, il s'agit de l'infrastructure de transport, c'est-à-dire l'infrastructure routière ou ferroviaire.



3 Infrastructures et agencements de regroupement possibles

3.1 Rapports de propriété

Dans le cadre d'un regroupement, il convient généralement de considérer la route ou la voie ferrée comme l'infrastructure de support et le système de câbles comme l'infrastructure secondaire (le transport d'électricité est une co-utilisation). Ceci s'applique tout particulièrement lorsque la route ou la voie ferrée existait avant le projet de regroupement. L'infrastructure de support est alors généralement la propriété de la Confédération ou d'une entreprise ferroviaire (voir chapitre suivant). Le gestionnaire national du réseau Swissgrid n'a pas l'ambition de devenir propriétaire de l'infrastructure de support. Le principe d'une utilisation conjointe lui convient.

3.2 Infrastructures de support

Route

Sous le terme générique de « route », la présente étude a examiné les routes fédérales à grand débit réservées aux véhicules à moteur, servant à couvrir des distances importantes et offrant une forte capacité de transport. Concernant le degré de développement et l'agencement des routes à grand débit, il convient de faire la distinction suivante :

- Autoroutes : routes à grand débit dotées d'une séparation des sens de circulation et disposant d'au moins quatre voies.
- Semi-autoroutes : routes à grand débit, sans séparation des sens de circulation et disposant d'au moins deux voies.

Les routes nationales sont réparties en trois classes distinctes (selon art. 1 ss. LRN) :

- Routes nationales de 1^{re} classe: exclusivement réservées aux véhicules motorisés, elles ne sont accessibles qu'à certains points, dotées d'une séparation des sens de circulation et dépourvues de croisement à niveau.
- Routes nationales de 2^e classe : exclusivement réservées aux véhicules motorisés, elles ne sont accessibles qu'à certains points et sont en principe dépourvues de croisement à niveau.
- Routes nationales de 3º classe : autres routes fédérales, accessibles à tous types d'usagers.
 Ces dernières ne sont pas prises en compte ici.

Les routes fédérales à grand débit se subdivisent par conséquent en routes nationales de 1^{re} et 2^e classe. Les semi-autoroutes sont toujours des routes nationales de 2^e classe.

À l'exception de l'A9 Viège – Sierre et de quelques autres petits tronçons, le réseau des routes nationales est quasiment terminé. Divers projets d'assainissement et d'extension de grande ampleur pourraient toutefois dégager de nouveaux potentiels de regroupement avec des lignes de transport d'électricité. Ceci comprend aussi bien des routes ouvertes que des ponts et des tunnels. Le second tube du tunnel routier du Saint-Gothard en est un exemple concret. De même, des galeries de sécurité



(également appelées galeries d'évacuation ou de sauvetage) sont en cours de creusement pour améliorer la sécurité des tunnels.

Chemin de fer

Sous le terme générique de « chemin de fer » ont été regroupées les lignes ferroviaires à voie normale et étroite dont le financement de l'entretien, du maintien de la fonctionnalité et des futures extensions est assuré par le fonds d'infrastructure ferroviaire. Ceci comprend les infrastructures de 39 entreprises ferroviaires appartenant à CFF Infrastructure mais également à des chemins de fer privés.

L'infrastructure ferroviaire est progressivement étendue dans le cadre d'un programme de développement stratégique. Le tracé du réseau ferroviaire ne connaîtra toutefois plus de modification significative. Le programme prévoit avant tout des extensions de lignes existantes⁷. Les seules exceptions sont les nouveaux tunnels du Plateau suisse, tels que le tunnel de Brütten, le prolongement du tunnel du Zimmerberg II et, à l'avenir, probablement une liaison directe entre Aarau et Zurich. L'association « Communauté d'intérêts Grimselbahn » encourage et soutient la réalisation d'une nouvelle ligne à voie étroite entre Meiringen et Oberwald. Les investissements fait dans le développement de l'infrastructure ferroviare sont de plus en plus fréquement destinés au maintien de la fonctionnalité (rénovations), ce qui n'améliore guère le potentiel de regroupement des tunnels ferroviaires, puisque la section du tunnel ne s'en trouve que peu modifiée.

À moyen et long terme devrait être réalisé un système de transport de fret souterrain, nommé Cargo sous terrain (CST), qui constituera à l'avenir une nouvelle infrastructure de support. CST prévoit un développement progressif de ses infrastructures selon un axe est-ouest (Genève – Saint-Gall) et offrira également dans ses installations de transport de marchandises des possibilités d'usages secondaires, telles que des infrastructures d'électricité ou de télécommunications dont le potentiel de regroupement pourrait être exploité. Le Conseil fédéral [3] projette de mener une consultation au sujet de CST. Cette infrastructure de support inédite est toutefois exclue de la présente étude.

3.3 Infrastructures électriques

3.3.1 Niveaux de réseau

La présente étude a pour objet d'étudier le regroupement des infrastructures avec les lignes du niveau de réseau 1 (NR 1) du réseau de transport d'électricité 380/220 kV de la Société nationale pour l'exploitation du réseau Swissgrid. Conformément au cahier des charges (cf. chapitre 1.1), les déclarations et les conclusions de cette étude s'appliquent uniquement au NR 1. Il est par ailleurs possible que diverses déclarations et conclusions de l'étude correspondent également aux niveaux de réseau 3 (NR 3) et 5 (NR 5) et y soient applicables. Ceci doit toutefois être vérifié au cas par cas (voir aussi chapitre 6.3).

Voir Message du 31 octobre 2018 à propos de l'arrêté fédéral sur l'étape d'aménagement 2035 pour les infrastructures ferroviaires.



Le réseau de distribution suprarégional NR 3 est planifié, mis en œuvre, entretenu et exploité en Suisse par divers exploitants de réseau (p. ex. Axpo, BKW, CKW, etc.). Pour des raisons historiques, les réseauxNR 3 sont exploités avec différentes tensions, p. ex. 50/110 kV pour Axpo, 132 kV pour BKW, mais également 150 ou 65 kV pour d'autres exploitants. Les réseaux de distribution régionaux NR 5 sont exploités par les exploitants régionaux/régies cantonales, p. ex. en 16 kV pour AEW, en 16 kV pour BKW, mais aussi en 20 kV pour d'autres réseaux.

À la différence des lignes électriques du NR 1, celles du NR 3 et du NR 5 ne sont soumises à aucune obligation de plan sectoriel. Ces lignes sont directement approuvées dans la procédure d'approbation des plans. L'autorité directrice doit contrôler à cet égard si les principes et les objectifs d'aménagement du territoire ont été pris en compte lors de l'élaboration des projets de construction des lignes et si un examen suffisant des variantes, comprenant la vérification des possibilités de regroupement, a été effectué. Il est par conséquent important qu'un regroupement avec d'autres infrastructures soit également envisagé lors de la planification de projets de NR 3 et NR 5, dans la mesure où la situation concernée présente un potentiel concret à cet égard. Les clarifications correspondantes doivent être documentées dans le projet de mise à l'enquête. Ceci permet de s'assurer qu'un processus ne risque pas d'être retardé en raison d'informations manquantes ou d'un besoin de clarifications additionnelles.

Techniquement, un regroupement avec des lignes électriques du NR 3 et du NR 5 est beaucoup plus simple à réaliser qu'avec le NR 1. Si des lignes du NR 3 et du NR 5 doivent être regroupées avec une infrastructure de support relevant des compétences cantonales ou communales⁸, les procédures d'autorisation cantonales ou communales correspondantes doivent toutefois être coordonnées avec la procédure fédérale d'approbation des plans. Ce processus de coordination entre les autorités doit s'effectuer au cas par cas et peut se révéler complexe suivant la situation.

3.3.2 Types de lignes étudiés

<u>Technologie de câbles PER:</u> L'étude est basée sur la technologie de câbles PER⁹. Plusieurs fabricants produisent de tels câbles à haute tension jusqu'à 500 kV et de nombreux autres types de câbles, qui se distinguent par leur structure et leurs matériaux (conducteur, isolation, blindage, gaine). Une caractéristique clé réside dans le choix du matériau conducteur, qui peut être du cuivre ou de l'aluminium. Selon les spécifications requises, diverses solutions sont également proposées pour la structure de la gaine. Les câbles 500 kV présentent une section allant jusqu'à environ 150 mm. Pour la pose dans des batteries de tubes, des tuyaux de protection de câbles de 250 mm de diamètre sont requis. Les raccords à manchons mesurent 400 – 500 mm de diamètre et environ 3 m de long.

En principe, trois câbles sont installés par ligne (avec éventuellement un câble de réserve pouvant être ajouté en cas de défaillance). Pour des capacités supérieures, deux câbles peuvent être installés

⁸ p. ex. des routes cantonales à grand débit

⁹ PER = polyéthylène réticulé, ou en anglais XLPE (cross-linked polyethylene)



par phase, ce qui représente un total de 12 câbles pour deux lignes, sans compter les éventuels câbles de réserve¹⁰.

<u>Technologie de câbles à isolation gazeuse CIG:</u> Cette technologie nécessitant un seul tube de protection par phase allant jusqu'à 600 mm de section n'a pas été examinée par cette étude. Avec les récents développements en faveur de Clean Air – en lieu et place des mélanges gazeux nuisibles pour le climat (N2/SF6) – le diamètre des tubes augmentera encore pour atteindre environ 720 mm. Une mise en œuvre avec des blocs de tubes de câbles n'est par conséquent pas possible. Les cas d'utilisation se limitent aux agencements de type A (route) ou éventuellement de type D, si la galerie est suffisamment grande. La dimension d'une galerie technique/de sécurité devrait être spécialement adaptée au diamètre du tube, ce qui impliquerait une augmentation sensible de la section du tunnel et entraînerait des surcoûts.

<u>Technologie de supraconduction</u>: À section équivalente, un câble supraconducteur à haute température peut transporter environ cinq fois plus d'électricité qu'un câble en cuivre comparable. Si le matériau du câble est refroidi en-dessous de sa température de transition spécifique, il devient d'un coup supraconducteur, ce qui en fait un conducteur idéal. En outre, l'opération ne génère pas de champs électromagnétiques externes. Au stade actuel de développement, on a pu obtenir un matériau de câble devenant supraconducteur à une température négative relativement élevée de -180° C et pouvant être refroidi à moindre frais avec de l'azote liquide. L'utilisation à grande échelle de câbles suprconducteurs dépendra toutefois de la capacité à améliorer encore le rapport qualité-prix des matériaux conducteurs, c'est-à-dire à optimiser la fabrication des câbles, ainsi que le coût et la fiabilité de la technologie de refroidissement. De plus, les longueurs de câble sont encore très limitées. Il existe un premier tronçon de test avec un câble à basse tension triphasé¹¹. Le recours à des câbles supraconducteur pour les lignes 380 kV fait encore l'objet de recherches¹². N'étant pas encore totalement au point, cette technologie n'a pas été examinée par la présente étude.

Les déclarations ci-après de l'étude du DETEC se rapportent uniquement à la technologie de câbles PER pour le transport de l'électricité.

3.4 Agencements de regroupement selon le profil de l'ouvrage

En cas de regroupement, les possibilités d'agencement dépendent du type d'ouvrage et de l'emplacement au sein de l'ouvrage. Une approche différenciée est par conséquent nécessaire. Le Tableau 1 ci-après donne un aperçu des agencements qui ont été identifiés comme solutions potentielles et qui ont été examinés dans le cadre de la présente étude. Quatre de ces agencements correspondent aux regroupements avec un tunnel (agencements A – D), deux autres aux tronçons de plein air (agencements E et F) et une dernière au cas particulier du regroupement sur un pont (agencement G). Toutes les possibilités de regroupement sont ainsi couvertes.

Pour des raisons de simplicité, seuls trois câbles sont représentés dans les icônes et les pictogrammes de ce rapport.

¹¹ Projet « AmpaCity » à Essen, 1 km de long, Institut de technologie de Karlsruhe (KIT) entre autres

Projet de recherche ENSURE, Institut de technologie de Karlsruhe (KIT) entre autres



Tous les agencements correspondent par principe à des utilisations multifonctionnelles. Les agencements D et F permettent toutefois aussi des tracés parallèles ne nécessitant pas la co-utilisation des zones dédiées au transport routier ou ferroviaire. Pour l'agencement F, les parcelles contiguës devraient être acquises ou faire l'objet d'une servitude.

Un aspect important du regroupement réside dans la possibilité ou non de séparer spatialement la ligne électrique des voies de circulation. La séparation spatiale signifie que les lignes électriques (ou les chambres) sont accessibles à tout moment indépendamment de la circulation, parce qu'elles se situent dans une cavité distincte – dans le cas des tunnels – ou dans un corridor adjacent doté d'un accès séparé – dans le cas des tronçons ouverts. Si une ligne électrique intégrée à une chaussée ou à un talus présente des chambres de tirage ou de jonction de câbles qui sont uniquement accessibles à partir de l'infrastructure de support ou par l'intermédiaire de celle-ci, il n'existe pas de séparation spatiale. La délimitation des agencements E et F sur les tronçons à ciel ouvert figure à l'Annexe 2.

Tableau 1 : Possibilités structurelles d'agencement pour les projets de regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des voies ferrées

Section		Intégration de l'installation de câblage	Caractéristiques
Agencement A	Tunnel	Variantes : — Câbles posés de manière ouverte dans une galerie accessible (galerie technique) — Bloc de tubes de câbles sous la chaussée	 Le trafic et la ligne électrique sont spatialement séparés. Le trafic et la ligne électrique ne sont <u>pas</u> spatialement séparés.
Agencement B	Tunnel	Variantes : — Bloc de tubes de câbles dans l'accotement	 Le trafic et la ligne électrique ne sont <u>pas</u> spatialement séparés.
Agencement C	Tunnel	Variantes: — Câbles posés de manière ouverte dans une gaine de ventilation accessible — (Bloc de tubes de) câbles au niveau de la voûte	 Le trafic et la ligne électrique ne sont <u>pas</u> séparés spatialement, étant donné que la gaine de ventilation n'est pas accessible lorsque la circulation est ouverte. Le trafic et la ligne électrique ne sont <u>pas</u> séparés spatialement.
Agencement D	Tunnel	Variantes : — Câbles posés de manière ouverte dans la galerie (de sécurité) — Batteries de tubes sous le radier de la galerie (de sécurité)	 Le trafic et la ligne électrique sont spatialement séparés.



Section		Intégration de l'installation de câblage	Caractéristiques
Agencement E	Tronçon ouvert E.	Variantes : — Batteries de tubes sous la chaussée ou la bande d'arrêt d'urgence ¹³	 Le trafic et la ligne électrique ne sont <u>pas</u> spatialement séparés¹⁴.
Agencement F	Tronçon ouvert	Variantes : — Batteries de tubes en dehors de la chaussée et de la bande d'arrêt d'urgence (pour une route) ou des installations de ligne de contact (pour le chemin de fer)	 Le trafic et la ligne électrique ne sont <u>pas</u> séparés spatialement¹⁴.
Agencement G	Pont	Variantes : — Câbles posés de manière ouverte dans un caisson creux ou contre les poutres d'un pont — Câbles posés de manière ouverte contre le tablier d'un pont	Le trafic et la ligne électrique sont spatialement séparés.

3.5 Agencements pertinents / non pertinents

Des recherches approfondies sur des projets similaires, nationaux et internationaux, ont permis d'analyser les conditions-cadres et le contexte (accessibilité, espace utile, contraintes, protection des usagers des transports, sécurité du travail, influence réciproque et modification des risques) des différents agencements, ainsi que de déterminer lesquels des sept agencements identifiés ont déjà été réalisés et quelle est leur pertinence par rapport au cahier des charges. Comme exposé dans le chapitre 2.1, les exemples de mise en œuvre pouvant être pris en compte sont à ce jour rares. C'est pourquoi, les recherches ont été complétées par des réflexions sur la pertinence fondamentale et la date de réalisation potentielle, permettant ainsi une première évaluation des agencements dont l'étude mérite d'être poursuivie. Les principaux enseignements de ces recherches sont les suivants :

Tous les agencements ne présentent pas les mêmes conditions de regroupement.

Outre les voies de circulation, la chaussée comprend également la bande d'arrêt d'urgence, ainsi que l'ensemble de l'espace occupé par le système de retenue des véhicules (glissières de sécurité).

Une séparation spatiale existe uniquement si les chambres de tirage et de jonction de câbles se situent en dehors des zones dédiées au transport routier ou ferroviaire et sont accessibles via une route d'entretien indépendante ou un chemin rural.



- À de rares exceptions près, un regroupement ultérieur avec une infrastructure de support en exploitation est difficilement possible, si cette dernière n'a pas été planifiée à cet effet.
- Les routes nationales offrent des conditions d'infrastructure mieux appropriées que les voies ferrées.

Le Tableau 2 de la page 32 propose une vue d'ensemble des agencements qui se sont révélés pertinents pour des projets de regroupement et qui ont été approfondis dans le cadre de l'étude. Cette évaluation est le fruit des appréciations suivantes :

Tunnel, agencement A:

- Route: Dans les tunnels routiers de grande longueur, cet agencement revêt une importance capitale pour exploiter le potentiel de regroupement. L'installation de câblage peut alors être agencée des manières suivantes (voir Figure 1):
 - Dans une galerie technique accessible située sous l'espace de circulation : les raccords à manchons sont logés dans la galerie technique de façon ouverte.
 - <u>Dans une batterie de tubes directement sous la chaussée :</u> les raccords à manchons doivent être casés dans des chambres de jonction au sol.
 - Dans une batterie de tubes à côté d'une galerie technique : les raccords à manchons sont situés dans des niches latérales au sein de la galerie technique.

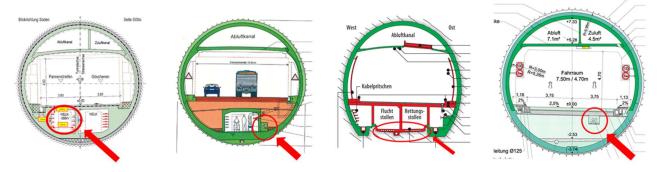


Figure 1 : Représentation de variantes pour l'agencement de type A, route (de gauche à droite) : second tube du tunnel routier du Saint-Gothard, tunnel de l'Uetliberg, tunnel du San Bernardino, tunnel du Pfänder

- Chemin de fer : Cet agencement ne s'avère que très peu pertinent pour les projets de regroupement, car :
 - La section d'un tunnel ferroviaire est mieux exploitée que celle d'un tunnel routier. Il ne reste donc que peu d'espace pour des usages tiers.
 - L'intégration de câbles directement sous la voir ferrée n'est pas commune (voir à ce propos les explications fournies sous le point Agencement E).





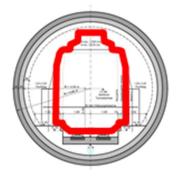


Figure 2 : Comparaison de l'exploitation du gabarit d'excavation par la route et le chemin de fer dans le cas d'une section circulaire



- Route : Cet agencement ne s'avère que très peu pertinent pour les projets de regroupement, car :
 - o Dans les tunnels routiers, les accotements sont relativement étroits.
 - La batterie tubes est utilisée pour les câbles électriques et de traitement du tunnel routier. Il ne reste par conséquent pas de place pour ajouter des lignes de transport d'électricité.
- Chemin de fer : L'accotement, qui fait office de finition latérale des voies ferrées, peut également servir à loger des chemins de câbles. Cette solution est utilisée de longue date pour le réseau 132 kV (16,7 Hertz) de transport de l'énergie de traction.
 - Dans les tunnels ferroviaires de grande longueur, cet agencement revêt par conséquent une importance capitale pour exploiter le potentiel de regroupement. Les possibilités de pose diffèrent fortement selon qu'il s'agit d'un tunnel à superstructure ballastée (généralement dans les tunnels plus anciens) ou à voie de roulement rigide (généralement dans les tunnels plus récents), voir Figure 4.
 - Superstructure ballastée: Dans cette variante, la batterie de tubes est intégrée de façon « flottante » entre le parement et le lit de ballast: Les raccords à manchons doivent être disposés dans des niches du tunnel. La ligne de traction de 132 kV du tunnel du Simplon est un exemple de réalisation de ce type.
 - Voie de roulement rigide : Dans cette variante, c'est l'accotement qui borde la voie de roulement rigide qui fait office de batterie de tubes. Les raccords à manchons doivent être disposés dans des niches du tunnel. Les lignes de traction de 132 kV des nouvelles réalisations que sont le tunnel de base du Lötschberg, le tunnel de base du Zimmerberg I (pas encore équipé) ou le tunnel de l'Albula II encore en construction sont des exemples de cette variante.

Si le tunnel présente un profil circulaire, la section transversale de l'accotement – et par conséquent l'espace disponible pour loger une batterie de tubes destinées à des lignes de transport d'électricité – dépend du diamètre du tunnel (voir Figure 4). Ce dernier dépend à son tour du gabarit de l'installation ferroviaire et de la vitesse de base, c'est-à-dire de la section requise d'un point de vue aérodynamique.



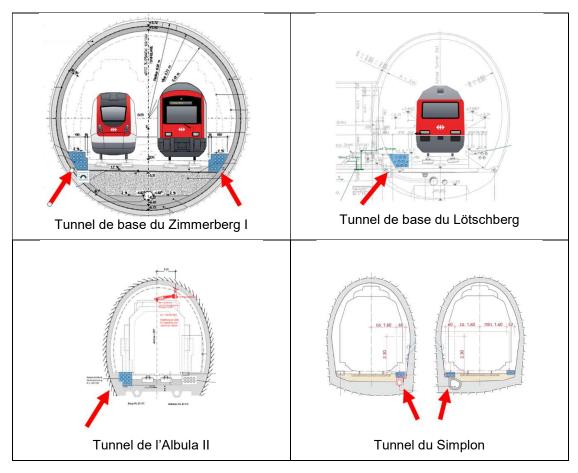


Figure 3 : Profils des tunnels et configuration des infrastructures ferroviaires (voie de roulement rigide : en haut et en bas à gauche, superstructure ballastée en bas à droite)

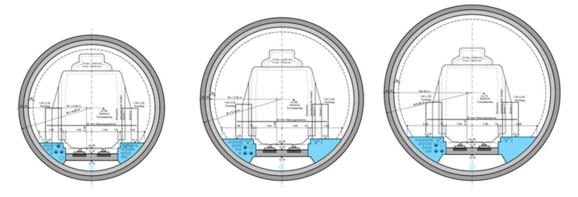


Figure 4 : Illustration de l'espace disponible avec l'agencement B en fonction du gabarit du tunnel.





Tunnel, agencement C:

- Route : Cet agencement n'est pas pertinent pour les projets de regroupement :
 - o Pour les questions de sécurité suivantes :
 - Exposition des câbles à la collision avec des véhicules hauts.
 - Exposition directe des câbles au feu/à la chaleur en cas d'incendie.
 - Les faux-plafonds ont une résistance au feu limitée en cas d'incendie.
 - Les câbles sous tension dans des gaines de ventilation représentent un danger potentiel haut en cas d'incendie.
 - Les tunnels existants sont généralement dépourvus d'interconnexion des gaines de ventilation et des galeries techniques via les centrales de tunnels.
 - Le déroulement du montage est plus complexe : les distances de tirage des câbles sont donc plus courtes
 - Il n'existe pas d'exemples pratiques connus à ce jour.

Si un projet de regroupement peut se planifier de bout en bout, l'agencement A constitue clairement une meilleure variante pour la gestion des lignes de transport d'électricité.

- Chemin de fer : Cet agencement n'est pas pertinent pour les projets de regroupement :
 - Les faux-plafonds ne sont pas une solution réaliste dans les tunnels ferroviaires (économiquement non rentable en raison de l'excavation supplémentaire requise).
 - Pour les questions de sécurité suivantes :
 - Exposition des câbles à la collision avec des véhicules ferroviaires.
 - Exposition directe des câbles en cas d'incendie.
 - Le déroulement du montage est plus complexe : les distances de tirage des câbles sont donc plus courtes
 - o Il n'y a pas d'exemples pratiques connus à ce jour.
 - De plus, dans les tunnels existants, la pose de câbles à haute tension sous la voûte est uniquement autorisée si ces derniers servent à l'exploitation ferroviaire (DE-OCF, art. 44b ch. 4).

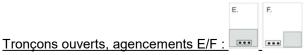
Si un projet de regroupement peut se planifier de bout en bout, l'agencement B constitue une meilleure variante pour la gestion des lignes de transport d'électricité.



- Route / chemin de fer : La pertinence est élevée pour les raisons suivantes :
 - Oun potentiel existe dans la mesure où, pour renforcer leur sécurité, de nombreux tunnels existants doivent être complétés de galeries de sécurité, en particulier les tunnels routiers (p. ex. actuellement les tunnels autoroutiers de Sachseln sur l'A8 entre Hergiswil et Spiez, de Viamala sur l'A13 entre Thusis et Bellinzona, et prochainement le tunnel du Kerenzerberg sur l'A3 entre Zurich et Sargans).



- La modernisation s'effectue sans entrave notable du trafic et peut être mise en œuvre à tout moment.
- Par rapport à une galerie technique dédiée, la co-utilisation d'une galerie de sécurité présente des synergies dans la mesure où les installations de creusement du tunnel sont de toute façon nécessaires.
- La section de percement doit être supérieure à celle d'une galerie de sécurité pure, mais est globalement inférieure à ce qu'aurait nécessité la réalisation d'une galerie technique séparée.
- Le seul inconvénient est qu'actuellement seul la modéernisation de tunnels de longueur moyenne (max. 5 km) est prévue et que les points de départ et d'arrivée sont imposés. Il peut aussi s'agir d'enchaînements de tunnels, comme pour l'A13 entre Thusis et Splügen, entre lesquels des tronçons devraient être enfouis en terrain difficile selon l'agencement F ou même l'agencement E.



- Route: Le long des routes nationales, cet agencement revêt une importance capitale pour exploiter le potentiel de regroupement. Cet agencement est avant tout pertinent en présence d'un terrain plat et non construit sur des distances importantes.
- Chemin de fer : Le document [1] concluait déjà que le réseau ferroviaire était moins adapté à une utilisation multifonctionnelle que le réseau routier. Ceci s'explique notamment par les raisons suivantes :
 - Agencement E: L'enfouissement de câbles le long des voies ferrées est impossible sans le consentement de l'exploitant de l'infrastructure ferroviaire. Conformément à l'art 99 al. 4 de l'OLEI, les lignes câblées qui ne servent pas à l'exploitation ferroviaire doivent être posées en dehors du domaine des voies et des supports de ligne servant à l'alimentation électrique de l'installation de traction. Seul le passage de lignes câblées au-dessous des installations de traction est réalisable, à condition que la distance entre les lignes câblées et le niveau inférieur des rails est d'au moins de 1,3 m pour les voies avec plate-forme indépendante (OLEI, art 103 al. 2).
 - Agencement F: À côté des voies, il est également difficile de trouver l'espace nécessaire pour une batterie de tubes dimensionnée pour une ligne de transport d'électricité, car les zones dédiées au transport ferroviaire sont généralement étroites¹⁵. Le peu de place disponible est déjà utilisé pour les ouvrages d'évacuation des eaux et les batteries de tubes nécessaires à l'exploitation ferroviaire.
 - o En zone urbaine, une future extension de la ligne ferroviaire peut poser d'importants problèmes de place.
 - Au niveau des gares, le tracé de lignes électriques est extrêmement complexe (quais, passages piétons souterrains, etc.).

La largeur des voies ferrées est d'environ 4 m (une voie) à 10 m (deux voies). La largeur de la zone dédiée au transport ferroviaire varie habituellement entre 8 et 20 m, cette dernière valeur s'appliquant notamment en présence d'une tranchée ou d'un remblai.



- Les remblais de voies ferrées existants sont souvent très pentus, ce qui rend difficile et coûteuse l'intégration d'une batterie de tubes.
- Dans le cas d'infrastructures existantes, le tracé de câbles ne doit pas se situer dans le périmètre d'une ligne d'intérêt des CFF, afin d'en permettre de futures extensions (p. ex. dans la perspective d'une extension à deux voies).
- En raison de la densité urbaine et de la topographie, l'accès au chantier est difficile sans un appui logistique ferroviaire.



Ponts, agencement G:

- Route: Cet agencement est lié à l'agencement E (route):
 - On le rencontre fréquemment avec l'agencement E (et éventuellement F), lorsque la route doit franchir un autre axe de circulation ou un vallon / une tranchée (et qu'aucun tracé de contournement n'est possible).
 - Également important pour les lignes électriques des niveaux de réseau 3 et 5, en présence de grands ponts enjambant de profondes vallées/gorges.
- Chemin de fer : Cet agencement est lié à l'agencement E (chemin de fer) :
 - On le rencontre avec l'agencement E (et éventuellement F), lorsque la voie ferrée doit franchir un autre axe de circulation ou un vallon / une tranchée (et qu'aucun tracé de contournement n'est possible).
 - Également important pour les lignes électriques des niveaux de réseau NR 3 et 5, en présence de grands ponts enjambant de profondes vallées/gorges.
- Les ponts sont très variés sur le plan de la conception statique de leur structure porteuse principale (ponts en arc, ponts à poutres avec caissons creux ou longerons en acier ou en béton) ou secondaire (nervures transversales). De plus, les culées forment une barrière transversale qui doit être traversée ou contournée. Les possibilités de réaliser un regroupement sont par conséquent nettement plus importantes si celui-ci peut être coordonné dans le cadre d'une nouvelle construction.





Figure 5 : Lignes câblées de niveaux de réseau inférieurs fixées sous des ponts ou associées à des câbles de l'infrastructure de support

Pour les ponts formés de plusieurs travées et ne franchissant pas un terrain trop accidenté, il est aussi concevable d'aménager le tracé de câbles à côté ou au-dessous du pont, comme l'illustre l'exemple de la Figure 6.



Figure 6 : Aménagement pour la future ligne 380/200 kV Wollishofen-tunnel de l'Uetliberg avec route de service et chambre de jonction sous l'un des ponts de la ramification autoroutière de Zurich-Sud (flèches : couvercles des chambres de jonction)



Tableau 2 : Évaluation de la pertinence des agencements

Section	_	Route	Chemin de fer
Agencement A	Tunnel	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'assainissement global.	Inapproprié par manque de place dans les tunnels ferroviaires. N'a pas été approfondi.
Agencement B	- N a pas ete approiondi.		Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simulta- née des infrastructures.
Agencement C	Tunnel	Inapproprié pour des considérations de sécurité. N'a pas été approfondi.	
Agencement D Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures of galerie parallèle (p. ex. une galerie de sécurité).			
Agencement E	Tronçon ouvert	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'assainissement global, dans des cas particuliers et quand les chambres de jonction se trouvent en dehors de la chaussée / bande d'arrêt d'urgence.	Conformément à l'ordonnance sur les installations à courant fort, les lignes câblées qui ne servent pas à l'exploitation ferroviaire doivent être posées en dehors de la zone des voies et des supports de ligne servant à l'alimentation électrique de l'installation de traction. N'a pas été approfondi.
Agencement F	Tronçon ouvert	Pertinence élevée : Réalisable en cas de construction simultanée des infrastructures ou d'assainissement global. Pour une infrastructure de support en cours d'exploitation, si l'accès (au chantier) se fait latéralement via les terrains adjacents.	Pertinence relative : L'espace à côté d'une voie ferrée est souvent réduit. De plus, d'autres restrictions s'appliquent. Uniquement pertinent en cas de construction simultanée des infrastructures (nouvelle ligne).
Agencement G	_ G		des contraintes.



4 Conditions-cadres et contexte pour le regroupement

4.1 Conditions-cadres de la logistique des câbles

4.1.1 Accessibilité dans les tunnels routiers

Avec l'agencement A, les infrastructures routière et électrique peuvent être spatialement séparées ou non selon la variante.

- Séparées : Dans une galerie technique accessible située sous l'espace de circulation (accès via la galerie technique).
- Non séparées : Dans une batterie de tubes à plat sous la chaussée (accès via des chambres à câbles dans l'espace de circulation).
- Séparées: Dans une batterie de tubes à côté de la galerie technique (accès via des niches dans la galerie technique).

Selon la variante, l'accès à l'infrastructure électrique peut ainsi être dissocié du trafic, ce qui simplifie la logistique et n'entraîne pas de restrictions de circulation.

Des restrictions logistiques surviennent cependant toujours lors du transport des câbles par la route jusqu'au tunnel, ainsi qu'à l'intérieur de ce dernier lors de la pose des câbles (voir chapitre 4.1.5).

4.1.2 Accessibilité dans les tunnels ferroviaires

Avec l'agencement B, les infrastructures ferroviaire et électrique ne sont pas séparées spatialement. L'accès à l'infrastructure électrique représente une contrainte pour l'infrastructure ferroviaire, et ce sous deux formes :

Logistique:

- Dans les tunnels de grande longueur, il convient d'assurer le transport des intervenants par train jusqu'à leur lieu d'intervention.
- Lors du montage initial ou du remplacement des câbles et des accessoires au terme de leur durée de vie, le matériel doit être transporté jusqu'au lieu de pose ou de tirage. Si l'infrastructure de support est réalisée en même temps que l'installation de câblage, le tirage des câbles peut s'effectuer au stade du gros-œuvre depuis la plate-forme c'est-à-dire avant la mise en place des traverses en béton et des rails à l'aide de véhicules sur pneus. Par la suite, l'opération nécessitera l'emploi de véhicules ferroviaires.

Restrictions de capacité :

 Pour les accès et les travaux qui ne peuvent être effectués durant l'interruption de trafic nocturne, il faut prévoir une coupure prolongée la nuit ou le week-end, voire un blocage total du trafic. Les besoins et les commandes doivent être communiqués et mis en œuvre conformément aux explications du chapitre 4.4.6.



4.1.3 Accessibilité dans les tronçons à ciel ouvert

Avec l'agencement E, les infrastructures de support et électrique ne sont pas séparées spatialement, sauf si les chambres de jonction se trouvent sur un terrain situé à l'extérieur des glissières de sécurité ou des clôtures à gibier. Cela vaut également pour l'agencement F, sauf si les chambres de jonction sont accessibles depuis un terrain adjacent / une route d'entretien.

Si les conditions ci-dessus ne peuvent pas être remplies, l'accès aux infrastructures électriques nécessitera de passer par l'infrastructure de support. Dans le cas d'une route, cela se traduit par des restrictions de circulation dues à des fermetures de voies. Cette solution est tolérée par l'OFROU uniquement dans des cas exceptionnels et en dehors des heures de pointe. Dans le cas d'une voie ferrée – de toute façon moins appropriée – l'accès devrait si possible être assuré via un chemin rural ou d'intervention parallèle lors de la construction d'un nouveau tronçon.

4.1.4 Accessibilité aux ponts

Avec l'agencement G, les infrastructures ferroviaire et électrique sont en principe séparées spatialement. Une passerelle de contrôle doit être prévue dans/sous le pont pour les travaux d'entretien et de maintenance. Une solution alternative consiste à employer un dispositif d'inspection des parties inférieures des ponts, dont la mise en place nécessite toutefois la condamnation d'une voie de circulation ou de la bande d'arrêt d'urgence.

La pose des câbles peut s'effectuer depuis la route ou depuis le sol.

4.1.5 Dimensions et poids des câbles à transporter

Les livraisons de câbles ne sont que peu fréquentes : habituellement lors de la première pose d'une ligne ainsi qu'après une durée de 40 à 60 ans, lorsque les câbles doivent être remplacés, ou en cas de dégâts exceptionnels. Malgré leur rareté, ce sont ces situations qui déterminent les exigences structurelles vis-à-vis de l'infrastructure de support.

Pour un câble de 380 kV d'une section de 2'500 mm², une bobine de 4,3 m de diamètre et 2,45 m de large permet de transporter jusqu'à 740 m de câble. D'un poids d'environ 30 t, la bobine de câble peut être chargée sur le véhicule de transport avec son axe positionné perpendiculairement au sens de circulation. Ceci permet de dérouler le câble dans le sens de la longueur du véhicule, ce qui limite l'encombrement de l'espace de circulation.

Pour des câbles extra longs, pouvant atteindre 2'000 m, les bobines peuvent peser jusqu'à 80 t. En additionnant le poids du véhicule de transport et celui de la remorque plate-forme, le poids total de l'ensemble peut par conséquent dépasser les 100 t. Pour des raisons techniques, la bobine de câble doit être positionnée avec l'axe dans le sens de circulation et le câble sera donc déroulé perpendiculairement au véhicule de transport.







Figure 7 : Véhicule de transport avec bobine de câbles sur une plate-forme spéciale avec l'axe dans le sens de circulation (source : société Wassermann Kabeltechnik).

Dans la mesure où le transport routier de bobines de câble est fortement susceptible de dépasser les prescriptions maximums de l'Ordonnance sur les règles de circulation routière (OCR) en termes de largeur (2,55 m), de hauteur (4,00 m), de longueur (16,5 m pour les semi-remorques) ou de poids (40 t), il fait figure de transport exceptionnel devant faire l'objet d'une demande d'autorisation spéciale. Pour ce type de transports, le tracé et le type d'itinéraire (gabarit et poids total autorisés) est déterminé par les itinéraires cantonaux de transports exceptionnels 16. Sur les routes nationales, la hauteur de transport maximum correspond à une hauteur utile de 4,5 m (voir Directive OFROU 11001, Profils types - Routes nationales de 1^{re} et 2^e classes avec séparation des sens de circulation). Dans le cas de tunnels plus anciens, comme le tunnel du Seelisberg, elle peut toutefois être inférieure.

Pour le transport ferroviaire, les dimensions de transport dépendent du gabarit du tronçon (voir DE-OCF) et des dimensions de chargement des compagnies ferroviaires (CFF, BLS, voir Réglementation CFF G-3521, Directives de chargement Tome 1 Principes, tableau 1-6).

Conclusion:

Pour le transport routier, il convient de souligner que pour les transports exceptionnels, le type d'itinéraire I (masse totale jusqu'à 480 t, hauteur maximum 5,20 m) se trouve majoritairement entre Bâle et le Plateau suisse. Dans certaines vallées alpines où se trouvent des centrales hydroélectriques, il existe des itinéraires d'approvisionnement de type II (masse totale jusqu'à 240 t, hauteur maximum 4,80 m). Certains ponts peuvent représenter des obstacles imposant des limites plus strictes (p. ex. à une masse totale maximum de 72 t). Lorsque rien n'est défini, comme p. ex. sur la route d'accès au tunnel routier du Saint-Gothard, les gabarits et les charges doivent être validés au cas par cas. Les charges par essieu sont déterminantes.

Pour le transport ferroviaire, il convient de tenir compte du fait que le fret transporté ne doit pas dépasser une hauteur de 4,50 m au-dessus du sommet des rails et une largeur maximum de 3,15 m. Les véhicules ferroviaires doivent être fournis par Swissgrid (ou les entreprises qu'elle mandate) ou commandés auprès d'une entreprise de transport ferroviaire (ETF).

ou les itinéraires d'approvisionnement pour transports exceptionnels



4.2 Espace utile pour l'installation de câblage

Influence de l'agencement sur la capacité de transport de courant

La puissance de transmission (MVA) ou la capacité de transport de courant (A) de l'installation de câblage dépendent de différents facteurs. Le dimensionnement du câble (section et matériau des conducteurs) doit par conséquent prendre en compte la méthode de pose, les spécificités du projet et les contraintes légales comme suit :

- pose ouverte dans le chemin de câbles pour les agencements A (variante galerie technique) ou D (variante galerie de sécurité ouverte),
- dans la batterie de tubes pour les agencements A (variante sous la chaussée), B ou D (variante galerie de sécurité sous le radier) ou E/F,
- câbles dans des tubes de protection montés sur les poutres/le tablier du pont pour l'agencement G.

Les systèmes de câbles à l'air libre ou en pose ouverte dans un chemin de câbles sont foncièrement plus favorables à la conductibilité, sans omettre le rôle non négligeable que jouent les écarts de phases, la température de l'air et le refroidissement (vitesse du vent) sur l'augmentation ou la diminution de la capacité de transport de courant. Ce mode de pose offre toutefois la plus faible protection contre les dommages externes.

Une batterie de tubes procure une meilleure protection systémique contre les agressions extérieures, même si l'écart entre les tubes au sein de la batterie (écart de phases), la profondeur d'enfouissement, la température du sol ou de la roche, et la conductivité thermique du lit de pose ont une influence sensible sur l'augmentation ou la diminution de la capacité de transport de courant. Pour augmenter la puissance de transmission d'une installation de câblage dans une batterie de tubes, les tubes de protection des câbles peuvent être comblés le cas échéant avec un matériau de remplissage soluble dans l'eau qui pourra à nouveau être évacué si nécessaire.



Tableau 3: Description de l'espace utile

Section		Espace utile pour l'installation de câblage / restrictions
Agencement A Route	Tunnel	 Câbles posés de manière ouverte dans une galerie (technique) accessible, situation courante avec un profil de tunnelier: Étant donné la présence des conduites propres à l'exploitation de l'infrastructure routière, l'espace utile disponible pour la disposition des câbles avec raccords à manchons est limité. La hauteur sous plafond de la galerie technique dépend de l'emplacement de la chaussée et du profil du tunnel. Conformément au Manuel technique Tunnel/Géotechnique de l'OFROU, elle est normalement fixée à 2,10 m ¹⁷ Batterie de tubes sous la chaussée: L'espace nécessaire à une batterie de tubesest disponible. Il doit être positionné suffisamment profond sous le revêtement de la chaussée. Les chambres de jonction doivent être logées dans des élargissements d'arrêt.
Agencement B Chemin de fer	Tunnel	 L'espace disponible dans la batterie de tubes pour une ligne de transport d'électricité dépend de la forme/dimension et de la méthode de percement du tunnel servant d'infrastructure de support (profil en fer à cheval en cas de percement par forage/dynamitage ou profil circulaire en cas de percement à l'aide d'un tunnelier): Tunnel à une voie avec accotement : surface de 1,2 m² à 1,8 m² de chaque côté Tunnel à une voie à superstructure ballastée : 0,2 m² d'un côté / des deux côtés Tunnel à deux voies avec accotement : surface de 1,0 m² à 1,2 m² de chaque côté L'utilisation des accotements restreint encore la surface disponible pour : 1 batterie de tubes pour la haute tension 1 batterie de tubes réservée à la basse tension Les raccords à manchons doivent être logés dans des niches du tunnel ferroviaire.
Agencement D Chemin de fer/route	Tunnel	 Câbles posés de manière ouverte dans une galerie de sécurité accessible : Étant donné la présence des conduites propres à l'exploitation de l'infrastructure routière et de la voie de fuite, l'espace utile disponible pour la disposition des câbles avec raccords à manchons est limité. Batterie de tubes sous le radier de la galerie : L'espace disponible pour une batterie de tubes est limité. Les raccords à manchons doivent être logés dans des chambres de jonction situées dans le radier.

Un abaissement du radier permettant de gagner en hauteur est possible au cas par cas dans certaines conditions.

Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Castian		Concestitions we Pinetallation de câblese / vectuiations	
Section		Espace utile pour l'installation de câblage / restrictions	
Agencement E Route	Tronçon ouvert E.	 Batterie de tubes sous la chaussée / la bande d'arrêt d'urgence (pas de norme) L'espace nécessaire à une batterie de tubes est disponible. Elle doit être positionnée suffisamment profond sous le revêtement de la chaussée et la couche de fondation. Les chambres de jonction doivent être placées en dehors de la chaussée, de la bande d'arrêt d'urgence et d'une éventuelle extension de voies, et être accessibles depuis un terrain adjacent / une route d'entretien. 	
Agencement F Route	Tronçon ouvert	 Batterie de tubes à côté de la voie de roulement : L'espace pour une batterie de tubes entre la glissière de sécurité et la clôture pour gibier est limité (et en partie en talus). Les chambres de jonction doivent être placées en dehors de la chaussée, de la bande d'arrêt d'urgence et d'une éventuelle extension de voies, et être accessibles depuis un terrain adjacent / une route d'entretien. 	
Agencement F Chemin de fer	Tronçon ouvert	 Batterie de tubes à côté de la voie de roulement : L'espace pour une batterie de tubes entre les rails / pylônes de caténaire et les ouvrages fixes (murs anti-bruit, murs de soutènement, constructions) est extrêmement limité (et en partie en talus). Les chambres de jonction doivent être placées en dehors des voies et être accessibles depuis un terrain adjacent / une route d'entretien. 	
Agencement G Route	Pont	 Les câbles peuvent être posés de manière ouverte : dans un caisson creux (dans le cas d'une section en caisson), entre ou à l'extérieur des longerons (dans le cas d'une section ouverte), éventuellement sur la dalle en porte à faux d'un pont si les charge permettent. Les possibilités doivent être étudiées en fonction des spécificite chaque pont, y compris concernant la présence d'autres conduits (des basse/moyenne tension, canalisations d'eau ou d'évacuation, et l'espace disponible dans la section. Les chambres de jonction doivent être positionnées avant les culées. Les raccords à manchons doivent être évités sous les ponts (en caisse au niveau des poutres). 	
Agencement G Chemin de fer	Pont	 Comme pour une route. Les chemins de fer présentent une diversité de ponts encore plus grande que les routes. De plus, ceux-ci sont aussi souvent plus anciens, par exemple les ponts à treillis en acier ou les ponts en arc maçonnés. Les aspects esthétiques jouent également un rôle. 	



<u>Conclusion</u>: Les possibilités d'agencement prédéfinies et l'espace utile disponible limitent considérablement la liberté de conception d'un projet de pose de câbles de lignes électriques par rapport à la planification en plein air (les écarts de câbles, la profondeur d'enfouissement, les possibilités d'évacuation de la chaleur, etc. sont autant d'aspects potentiellement non optimaux). La capacité de transport de courant recherchée doit éventuellement être coordonnée aux contraintes géométriques. Des sections de conducteurs plus importantes peuvent permettre de réduire la puissance perdue ou des mesures correctives peuvent être prises (ventilation/refroidissement).

Pour les batteries de tubes prévues dès la construction, les caractéristiques (section transversale, nombre de câbles possible, couvertures) sont prédéfinies, ce qui ne permet plus guère d'influencer la capacité de transport de courant ou la puissance de transmission, p. ex. en employant des conducteurs de section supérieure ou en comblant les tuyaux de protection des câbles.

Avec l'agencement B-Chemin de fer, l'espace dévolu aux systèmes de câbles se limite aux accotements de part et d'autre de la voie de roulement, étant donné que les canaux de sol sont moins exposés en cas d'incendie que les canaux muraux. La section des accotements du tunnel peut varier selon le profil de celui-ci (une ou deux voies, vitesse de base). Dans ces espaces, les lignes électriques sont d'ailleurs en concurrence avec les tuyaux de protection des câbles électriques et de traitement du tunnel (qui sont de toute façon prioritaires). Si les accotements ne permettent pas de satisfaire à toutes les exigences, le diamètre d'excavation devrait être augmenté, ce qui se traduirait par une forte augmentation des coûts de construction.

4.3 Contraintes relatives aux routes

4.3.1 Contraintes juridiques

L'utilisation conjointe du domaine des routes nationales en vue du regroupement avec une installation de câblage est soumise aux dispositions légales en vigueur de la LRN et de l'ORN. Les règles suivantes sont par conséquent applicables :

- L'autorisation de projets de construction dans le cadre des alignements d'une route nationale relève de la compétence de l'OFROU.
- Les projets de construction ou de remaniement dans le domaine d'une route nationale peuvent uniquement être autorisés s'ils n'influencent pas les aspects/objectifs suivants :
 - o la sécurité de la circulation routière,
 - o l'usage prévu de l'installation,
 - \circ la tenue de route et une éventuelle future extension de la route.

En guise de contribution à cette étude, sur la base de la réglementation en vigueur pour les routes nationales, l'OFROU a défini les critères d'approbation des projets de regroupement comme suit :

 En cas de construction simultanée des deux infrastructures ou d'assainissement global d'une route nationale existante, un projet de regroupement est en principe possible, mais pas en cours d'exploitation.



- L'agencement E (batterie de tubes sous la chaussée, dans la bande d'arrêt d'urgence) n'est en principe pas autorisé, y compris pour les batteries de tubes de l'OFROU, mais peut être examiné dans le cadre spécifique de l'UPlaNS¹⁸.
- Pour l'agencement F, la batterie de tubes doit se situer en dehors de la glissière de sécurité (la même exigence s'applique aux batteries de tubes de l'OFROU).
- Les chambres de jonction doivent être positionnées en dehors de la chaussée et de la bande d'arrêt d'urgence. Cette exigence s'applique également aux chambres de l'OFROU.
- Une galerie technique est envisageable avec l'agencement E dans certains cas. L'accès à la galerie technique et le tirage des câbles devraient également se faire par le côté. L'éventualité d'une future extension de la route nationale doit être prise en compte.

<u>Conclusion</u>: Conformément à la réglementation en vigueur, un regroupement est possible pour les routes nationales existantes, dans le cadre d'un assainissement global ou d'une future extension, ainsi que dans le cas de nouvelles constructions.

4.3.2 Cycle d'entretien de la route

Le cycle d'entretien de l'infrastructure de support, soit des routes nationales, représente une conditioncadre importante à respecter autant que possible lors de la coordination mutuelle de la planification
des travaux d'entretien, mais également lorsqu'il s'agit de fixer le moment opportun pour la mise en
place de mesure de regroupement. Un assainissement global, c'est-à-dire une maintenance d'une
route nationale, intervient dans le cadre de projets ponctuels avec des tronçons clairement délimités
(concept UPIaNS). À l'OFROU, l'entretien est planifié selon le manuel technique ASTRA 2B010 au
moyen de planifications pluriannuelles à long terme et à moyen terme, couvrant une période de
30 ans, respectivement de 10-20 ans. Sur la base d'analyses de l'état des routes, de priorisations et
de décisions préalables, des idées de projets sont générées, puis des projets sont élaborés en vue de
projets de maintenance ou de mesures individuelles (horizon de 5 à 10 ans). La planification pluriannuelle à moyen terme correspond aux programmes d'investissement. Les idées de projets sont inscrites au portefeuille de projets de l'OFROU. Les rénovations constructives de grande envergure interviennent ainsi au plus tôt tous les 30 ans.

<u>Réalisation</u>: Conformément à la planification de l'entretien des routes nationales [4], les opérations de conservation et les extensions de routes nationales doivent être concentrées dans des projets de maintenance d'environ 5 km de long. La distance jusqu'au prochain tronçon en chantier doit être d'au moins 30 km. Au cours des 15 ans suivant la fin des travaux, le tronçon concerné ne doit plus faire l'objet d'un chantier impliquant des restrictions de circulation.

UPIaNS : Planification de l'entretien des routes nationales



Conclusion: Idéalement, l'élaboration de projets de regroupement devrait être couplée à la génération d'idées de projets, c'est-à-dire environ 10 à 20 ans avant la réalisation d'un projet de maintenance et au plus tard au moment de l'élaboration du projet, 5 à 10 ans avant sa mise en œuvre. Dans la mesure où les projets de maintenance s'échelonnent dans le temps et dans l'espace, la continuité d'un regroupement le long d'une route nationale n'est réalisable qu'à long terme. Si cette stratégie d'entretien est maintenue, c'est-à-dire si le trafic ne doit pas être perturbé par des chantiers plus fréquemment et sur des distances plus importantes, il convient d'envisager le regroupement sous forme de câblages partiels de tronçons donnés, en attendant que ceux-ci puissent être réunis pour former une ligne complète. Cela nécessiterait la construction d'ouvrages de transition temporaires aux extrémités des câblages partiels, afin d'assurer le raccordement aux lignes aériennes existantes.

4.3.3 Aménagements constructifs

Les exigences en matière de construction des routes nationales (chaussée, ouvrages d'art et tunnels) figurent dans les directives et les manuels techniques de l'OFROU¹⁹. Toute dérogation nécessaire dans le cadre d'un projet de regroupement devra faire l'objet d'une approbation par l'OFROU. Par ailleurs, la prise en charge des coûts correspondants devrait être réglée. Exemples :

Élargissements d'arrêt dans les tunnels :

La norme SIA 1972/2 ne prévoit pas d'élargissements d'arrêt dans les tunnels à deux tubes, hormis lorsque les centrales ne sont pas accessibles de l'extérieur. Pour une configuration avec une batterie de tubes à plat sous la chaussée, des élargissements d'arrêt devraient spécialement être planifiés pour loger les chambres de tirage et de jonction de câbles, ces dernières n'étant pas autorisées dans l'espace de circulation des routes nationales (voir chapitre 4.3.1).

Étanchéité des galeries techniques dans les tunnels :

Une galerie technique est en principe préfabriquée et présente un profil en U renversé. Elle ne doit pas nécessairement être 100 % étanche à l'eau et au gaz. Des exigences plus strictes nécessiteraient par exemple une construction monolithique, des traversées de câbles étanches vers l'espace de circulation, etc. Alternative : protection contre la poussière et les gaz par surpression (voir chapitre 5.2.3, Ventilation).

https://www.astra.admin.ch/astra/fr/home/services/dokumente-nationalstrassen/standards-pour-les-routes-nationales html



4.3.4 Équipements d'exploitation et de sécurité (EES)

Il convient de noter que l'infrastructure de support comprend les équipements d'exploitation et de sécurité ci-après, dont la fonction ne doit pas être affectée par l'installation de câblage (ligne de transport d'électricité), ni en termes d'espace, ni par la présence de champs électromagnétiques.

- Approvisionnement en énergie
- Éclairage
- Ventilation
- Signalisation
- Dispositifs de surveillance
- Communication et techniques de commande
- Équipements auxiliaires

Dans une galerie technique ou une galerie de sécurité, la présence des câbles d'installation requis pour l'équipement d'exploitation et de sécurité sur un système de support de câble multicouches, d'une conduite d'eau d'extinction (bornes incendie) et de conduites d'évacuation peuvent restreindre l'espace disponible pour l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité. La galerie technique peut également abriter des dispositifs de surveillance et des équipements d'exploitation ou de sécurité.

4.3.5 Installations d'autosauvetage et de sauvetage par des tiers des usagers de la route

Les exigences relatives aux éléments constructifs des dispositifs de sécurité pour l'autosauvetage dans les tunnels routiers sont définies dans la norme SIA 197/2 et détaillées dans la fiche technique 24 001-10404 de l'OFROU pour la galerie technique et dans les fiches techniques 24 001-10404 et 24 001-10706 (Galeries transversales piétonnes) pour les galeries de sécurité. Le fait qu'une galerie technique accueillant une installation de câblage d'une ligne de transport d'électricité selon l'agencement A puisse également servir de chemin de fuite représente une contrainte essentielle pour tout projet de regroupement. Dans le cas d'un agencement D dans une galerie de sécurité, le chemin de fuite représente l'objectif principal.

Objectif des installations de sécurité: En cas d'incident, une galerie de sécurité agencée parallèlement à un tunnel routier à un tube doit permettre aux usagers de la route de fuir grâce à des portes de sortie de secours disposées à intervalle régulier et des galeries transversales (principe de l'autosauvetage). Dans les cas où ceci est techniquement impossible ou économiquement peu opportun, le même principe peut être appliqué à l'utilisation d'une galerie technique située sous la chaussée. Celle-ci sera alors accessible depuis l'espace de circulation par l'intermédiaire de départs de chemin de fuite latéraux.



Pour le regroupement, les installations d'autosauvetage et de sauvetage par des tiers sont importantes pour deux raisons :

- S'ils sont coordonnés suffisamment tôt, les projets de construction visant à renforcer la sécurité des tunnels offrent la possibilité d'intégrer une installation de câblage à l'ouvrage.
- Les effets de l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité sur d'éventuels automobilistes en fuite doivent être suffisamment pris en compte (voir chapitres 4.6 et 5).

4.3.6 Installation de chantier sur les autoroutes et les semi-autoroutes

En cas de regroupement avec une route, les travaux d'entretien et de maintenance de l'installation de câblage d'une ligne de transport d'électricité nécessitent un accès aux chambres de jonction. Si ces dernières sont uniquement accessibles depuis la route nationale, cela peut se traduire par des restrictions de l'espace de circulation. Comme pour les petits travaux d'entretien des routes nationales, tels que la taille de la végétation ou les travaux de revêtement et les réparations, les voies concernées peuvent être fermées à la circulation pour une durée maximale de 72 heures en tant que chantier de courte durée. L'installation et la sécurisation du chantier doit se faire conformément à la norme VSS SN 640 885 Signalisation des chantiers sur autoroutes et semi-autoroutes. La signalisation est organisée par l'OFROU ou le canton concerné.

4.4 Contraintes relatives aux chemins de fer

4.4.1 Contraintes juridiques

L'utilisation conjointe de l'infrastructure ferroviaire en vue du regroupement avec une installation de câblage d'une ligne de transport d'électricité est soumise aux dispositions légales en vigueur de la LCF et de l'OCF. Les règles suivantes sont par conséquent applicables :

- Planification de l'extension des infrastructures : En tant que gestionnaire du processus, l'OFT dirige et coordonne les planifications nécessaires aux étapes d'extension (Programmes de développement stratégique PRODES ; Plan sectoriel des transports, partie Infrastructure rail SIS).
- Les entreprises ferroviaires (en tant qu'exploitantes des infrastructures) sont responsables de la planification et de la mise en œuvre conforme aux prescriptions, de la sécurité d'exploitation et de l'entretien des ouvrages, des installations et des véhicules.

Dans le chapitre 3.5, on suppose que le potentiel de regroupement des infrastructures ferroviaires se situe principalement au niveau de la réalisation de nouvelles lignes (à l'avenir majoritairement des projets de tunnels).

Conclusion : En vertu de la réglementation en vigueur, le regroupement est possible.



4.4.2 Cycle d'entretien des chemins de fer

Le cycle d'entretien de l'infrastructure de support, soit des installations ferroviaires, représente une condition-cadre importante qu'il convient de respecter autant que possible lors de la coordination mutuelle de la planification des travaux d'entretien. D'après [5], la durée globale d'utilisation des voies de roulement atteint actuellement 37 ans et celle des installations de courant de traction 71 ans. D'après les DE OCF, la durée d'utilisation de la plaque de base d'une voie de roulement rigide peut être estimée à environ 60 ans. Une superstructure ballastée traditionnelle doit, quant à elle, être rebouchée tous les quatre ans pour préserver le bon positionnement des rails. L'entretien du réseau ferroviaire des CFF accuse actuellement un certain retard. Selon son propre rapport annuel, l'exploitant CFF Infrastructure s'efforce de rattraper son retard grâce à des gains d'efficacité, des processus simplifiés, des travaux groupés et des fermetures de lignes prolongées, avec l'objectif de pouvoir renouer avec des intervalles d'entretien normaux à l'avenir.

Conclusion: Pour un projet de regroupement avec une ligne ferroviaire, il faut tabler sur un renouvel-lement de la voie de roulement tous les 30 à 40 ans et des installations de courant de traction tous les 70 à 75 ans. À l'occasion de ces travaux, l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité devra être mise hors service durant une période prolongée. Si le système de câble se trouve à proximité d'une superstructure ballastée, comme avec une batterie de tubes de câble flottant avec l'agencement B-chemin de fer, il faut prévoir une coupure de la ligne tous les quatre ans lors de la réfection du ballast.

4.4.3 Contraintes constructives

Les exigences en matière de construction des ouvrages et des installations sont définies dans l'OCF et les exigences détaillées dans les dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE OCF), état au 1er juillet 2016.

Les contraintes déterminantes pour le regroupement sont notamment les suivantes :

- Articles 16 33 OCF concernant les caractéristiques géométriques de la voie, les distances de sécurité, l'infrastructure et les ouvrages d'art, et la superstructure.
- Articles 42 46 OCF Installations électriques

Conformément aux DE OCF, DE 44.b, chiffre 2.2, les liaisons par câble à haute tension peuvent uniquement passer par des caniveaux à câbles lorsqu'elles servent à l'exploitation ferroviaire.

Même pour une ligne de transport d'électricité 132 kV des chemins de fer, l'espace du tunnel est insuffisant pour accueillir les raccords à manchons. Des niches de jonction doivent être creusées à cet effet en respectant les ordres de grandeur suivants :

- Pour les raccords à manchons placés dans le sens du tunnel : jusqu'à 1,5 m de profond et 10 m de long.
- Pour les raccords à manchons placés perpendiculairement à l'axe du tunnel (p. ex. dans le tunnel de base du Lötschberg) : jusqu'à 6 m de profond, 5 m de haut et 4 m de large.



Pour les installations de câblage de NR 1, on peut tabler sur des niches de 10 à 25 m de long dans le sens du tunnel, selon que tous les câbles sont raccordés dans la même niche ou que chaque système soit placé dans sa propre niche avec chevauchement des autres systèmes (nécessite davantage de niches).

4.4.4 Équipement électrotechnique des infrastructures ferroviaires

Il convient de noter que l'infrastructure de support comprend les systèmes électrotechniques ci-après, dont la fonction ne doit pas être affectée par l'installation de câblage (ligne de transport d'électricité), ni en termes d'espace, ni par la présence de champs électromagnétiques.

Dans le cas de l'agencement B-chemin de fer, l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité doit en outre partager les batteries de tubes des deux accotements avec les conduites suivantes propres à l'exploitation ferroviaire :

- Câble de garde
- Câbles à haute tension ferroviaires :
 - lignes d'alimentation 15 kV / 16,7 Hertz
- Câbles à basse tension :
 - alimentation 50 Hertz
 - conducteur retour des câbles d'alimentation des caténaires
- Câbles de poste d'aiguillage (installations de sécurisation)
- Câbles de signalisation
- Câbles de commande
- Câbles en fibre optique (FO) pour la transmission de données

L'exploitation des infrastructures ferroviaires du tunnel (centrales d'exploitation, locaux de relais) est par ailleurs assurée depuis des locaux techniques situés à l'écart des tubes du tunnel et pouvant être logés dans des galeries/liaisons transversales dans le cas de tunnels à deux tubes.

4.4.5 Installations d'autosauvetage et de sauvetage par des tiers des usagers de l'infrastructure ferroviaire

Les exigences actuelles auxquelles doivent satisfaire les éléments constructifs des installations de sécurité des dispositifs d'autosauvetage des tunnels ferroviaires sont fixées par la norme SIA 197/1 et la réglementation I-20036 des CFF²⁰. La principale contrainte pour les projets de regroupement est que les accotements, dans lesquels est logée l'installation de câblage avec l'agencement B, servent également de voie piétonne latérale permettant de rejoindre une sortie de secours pour évacuer le tunnel, ainsi qu'aux inspections menées par le personnel exploitant de l'infrastructure de support. Les

Prend en compte les exigences de TSI-SRT, directive OFT « Exigences de sécurité pour les tunnels ferroviaires existants »



nouveaux tunnels à voie unique doivent disposer d'un chemin de fuite sur au moins un côté de la voie, ceux à deux voies doivent en être dotés des deux côtés de la galerie.

Les effets de l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité sur d'éventuels passagers de train en fuite doivent être suffisamment pris en compte (voir chapitres 4.6 et 5).

4.4.6 Fermetures de tronçons

En cas de regroupement avec une voie ferrée, les travaux d'entretien et de maintenance de l'installation de câblage peuvent nécessiter une interruption du trafic ferroviaire (notamment avec l'agencement B et éventuellement aussi avec l'agencement F).

Au sein du réseau ferroviaire suisse, l'interruption nocturne du trafic est généralement de 4 à 5 heures. Pour les travaux ne pouvant être réalisés dans ce délai, des fermetures de tronçons doivent être déclarées. Les fermetures de tronçons ferroviaires (c'est-à-dire les besoins d'intervalles) font l'objet d'un processus structuré auquel doivent également se conformer les travaux d'entretien, de maintenance et de réparation des installations de câblage. Il y a lieu de distinguer entre :

- les fermetures nocturnes prolongées uniques ou sur plusieurs jours (possibilité de prolongement des coupures d'exploitation ordinaires de 3 à 4 heures),
- les fermetures de week-end uniques ou sur plusieurs week-ends,
- les fermetures totales ou réductions sensibles de capacité sur plusieurs semaines (p. ex. réduction à une voie).

Synthèse des principaux points à prendre en compte :

- Grandes fermetures : dans le cadre d'un projet de construction ou de rénovation, la demande doit être formulée et concrétisée entre 3,5 ans (grandes lignes et lignes principales) et 1 an (toutes lignes) avant l'année d'exécution.
- Petites fermetures (entretien prévisible): les fermetures nécessitant des mesures au niveau du trafic ferroviaire doivent être commandées au plus tard 6 mois avant leur mise en œuvre, celles ne nécessitant pas de mesures au niveau du trafic au plus tard 3 mois. Les commandes doivent être précédées d'une déclaration préalable de besoin d'intervalle. En l'absence de déclaration préalable, seules les capacités résiduelles pourront être affectées.
- Réparation (entretien non planifié): en cas de survenue d'un besoin de ce type, les intervalles peuvent être commandés 3 mois avant la mise en œuvre.
- Inspections : les coupures ferroviaires requises doivent être commandées 4 à 10 semaines avant l'événement.



4.5 Contraintes relatives au courant électrique

4.5.1 Contraintes juridiques

Selon l'art. 20 al. 1 de la LApEl, un des principes fondamentaux de la sécurité d'approvisionnement de la Suisse est que le gestionnaire national du réseau Swissgrid veille en permanence à une exploitation non discriminatoire, fiable et efficace du réseau de transport. Le réseau de transport désigne le réseau électrique qui sert à transporter l'électricité sur de longues distances, tant au niveau national qu'en interconnexion avec les réseaux étrangers, et fonctionne en principe au niveau de tension 380/220 kV (art. 4 al. 1 let. h LApEl; NR 1). Swissgrid est propriétaire du réseau exploité par ses soins (art. 18 al. 2 LApEI). En vertu de l'art. 8 al. 1 let. a LApEI, Swissgrid est tenu d'assurer la sécurité, les performances et l'efficacité du réseau. Cette disposition doit s'entendre comme un engagement global pour une extension appropriée, une exploitation sûre et un entretien permanent du réseau. Dans ce contexte, les coûts de réseau peuvent être considérés comme imputables et répercutés sur les utilisateurs finaux par le biais de la rémunération pour l'utilisation du réseau. En vertu de l'art. 15 al. 1 LApEl, les coûts d'exploitation et les coûts de capital d'un réseau sûr, performant et efficace sont considérés comme des coûts de réseau imputables. Avec l'entrée en vigueur de la nouvelle loi fédérale sur la transformation et l'extension des réseaux électriques de la « stratégie Réseaux électriques » – prévue au 2e trimestre 2019 -, l'OFEN sera chargée, en vertu de l'art. 9a LApEI, d'élaborer tous les quatre ans un scénario énergétique servant de base à la planification du réseau. Sur cette base, Swissgrid sera tenu d'élaborer un plan de développement sur dix ans (plan pluriannuel) et de le soumettre à la Commission fédérale de l'électricité (ElCom) pour approbation (art. 9d LApEl).

En vertu de l'art. 15d al. 2 de la Loi sur les installations électriques (LIE), les installations du réseau de transport d'électricité sont d'intérêt national, en particulier au sens de l'art. 6 al. 2 de la loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN).

Les prescriptions de construction d'installations de câblage 380/220 kV correspondent essentiellement à l'ordonnance sur les installations à courant fort et à l'ordonnance sur les lignes électriques (OLEI).

4.5.2 Cycle d'entretien des systèmes de câbles

Les spécialistes sont unanimes sur le fait que les câbles à haute tension actuels en PER nécessitent peu d'entretien, fonctionnent de façon fiable et affichent une longévité dépassant largement 40 ans (voir p. ex. [6], [7]). Cette fiabilité est obtenue grâce aux contrôles qui sont menés sur tout nouveau système de câbles à haute tension, de la fabrication à la mise en service en passant par la pose, conformément aux normes internationales de la publication IEC 62067 [8]. L'entretien se limite principalement aux éléments de terminaison se trouvant dans les ouvrages de transition ou dans les installations de commutation (sous-stations), ainsi qu'aux raccords à manchons. Selon les préconisations du fabricant, ceux-ci doivent être inspectés visuellement une fois par an, tandis que les liaisons de terre fixes doivent être vérifiées tous les trois ans. Au niveau de réseau 1, et en partie aussi au niveau de réseau 3, des systèmes de surveillance des paramètres thermiques et électriques de l'installation de câblage sont de plus en plus souvent mis en œuvre.



Les travaux planifiés (aussi bien les projets que la maintenance) font l'objet d'une concertation de Swissgrid avec les gestionnaires de réseau de distribution et les exploitants de centrales électriques, avant d'être intégrés à une planification annuelle des coupures de courant.

Si l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité se trouve dans une galerie accessible (dans une galerie technique comme pour l'agencement B-route ou dans une galerie de sécurité comme pour l'agencement D), les dispositifs techniques secondaires comme la ventilation, l'éclairage, les systèmes d'alarme incendie, etc. nécessitent un entretien plus fréquent que le câble à haute tension lui-même.

4.5.3 Équipement électrotechnique de l'installation de câblage

Composants selon les ordonnances sur les installations à courant fort et sur les lignes électriques

Une installation de câblage 380/220 kV se subdivise comme suit :

- Support de câbles composé d'ouvrages ou d'éléments de construction et d'éléments de fixation (Annexe 1 chiff. 16 Ordonnance sur les lignes électriques).
 - L'ouvrage comprend la structure porteuse et les éléments non porteurs, ainsi que les compartiments coupe-feu et les éléments de construction formant des compartiments coupe-feu (art. 31 de la norme de protection incendie de l'AEAI)
 - L'ouvrage, c'est-à-dire la batterie de tubes ou la galerie technique, est la zone d'exploitation (art. 3 chiff. 13 Ordonnance sur les installations à courant fort) de la ligne câblée en tant qu'installation haute tension (art. 3 chiff. 13 Ordonnance sur les installations à courant fort).
 - Le support de câbles comprend également les éléments de fixation de la ligne câblée ou les ouvrages de jonction nécessaires (p. ex. des niches) ou les constructions métalliques pour les raccords à manchons.
- Ligne câblée formée des câbles, des connecteurs et des accessoires (Annexe 1 chiff. 13-15 et 17 Ordonnance sur les lignes électriques).
 - Les connecteurs de câbles (également appelés garnitures) sont p. ex. les raccords à manchons. Les accessoires de câbles comprennent les dispositifs de surveillance ou de protection, p. ex. pour le monitoring de la température des câbles.
- Système de mise à la terre :
 - La mise à la terre est assurée par l'ensemble de toutes les électrodes de terre et conduites de mise à la terre reliées entre elles, y compris les conduites d'eau métalliques, les armatures de fondations, les gaines métalliques de câbles, les fils de terre et autres conduites métalliques (art. 3 chiff. 9 Ordonnance sur les installations à courant fort).



Caractéristiques techniques et opérationnelles principales

Le dimensionnement du système de câbles dépend des caractéristiques suivantes :

- Exigences du système vis-à-vis de la ligne de transport d'électricité avec calculs de résistance et autres
- Choix des aspects technique du système de câbles (câbles, armatures et accessoires, mais aussi perspectives d'évolution)
- Type de pose (effet sur la capacité de transport de courant, rayonnement non ionisant et autres phénomènes de CEM, dissipation de la chaleur)
- Concept de fixation (statique) et technique de montage (besoin de place, accès, ouvertures de montage, voies de circulation, machines et équipements)
- Réalisation du système de mise à la terre (voir chapitre 5.2.1)
- Exigences de place pour
 - o l'agencement du cross-bonding et des installations de compensation,
 - o les vérifications sur site des systèmes de câbles après le montage,
 - o les dispositifs techniques secondaires comme le monitoring,
 - o l'exploitation et l'entretien (voir chapitre 4.5.2).

Étanchéité et réaction au feu des câbles à haute tension

En raison de la rigueur des contraintes, les câbles à haute tension en extérieur sont généralement dotés d'une gaine en HDPE (High Density Polyethylen), qui présente de bonnes propriétés mécaniques et n'absorbe pas l'eau. Ce matériau ne satisfait cependant à aucune exigence particulière en matière de protection incendie.

Pour les applications en environnement sec, par exemple dans les centrales, les tunnels ou les galeries techniques, le matériau sans halogènes et ignifuge FRNC (Flame Retardant Non Corrosive²¹) peut être utilisé en guise de gaine de câble. Les câbles FRNC se caractérisent par une charge combustible et des émissions de gaz de fumée minimes. Les câbles correspondants sont spécifiés dans les normes IEC 60332 et IEC 60754 de la Commission électrotechnique internationale (IEC). Le matériau FRNC possède toutefois des propriétés hygroscopiques, ce qui signifie qu'il peut absorber l'humidité et n'est donc pas adapté à un usage en extérieur. Il augmente en outre la friabilité du matériau de la gaine.

Pour la zone d'entrée d'un tunnel, les câbles habituels à gaine HDPE sont recommandés avec un revêtement de protection supplémentaire, améliorant la réaction au feu et les émissions de fumées. Ce revêtement protecteur doit être appliqué systématiquement sur le premier et le dernier tronçon (entrée et sortie de bâtiment jusqu'aux manchons) après l'installation des câbles.



4.5.4 Dispositifs techniques secondaires pour la surveillance et l'exploitation

L'équipement comprend également des systèmes de surveillance et des éléments d'exploitation, en particulier lorsque les câbles sont posés dans des galeries accessibles.

Surveillance

Les systèmes de monitoring pour la surveillance thermique et électrique de l'installation de câblage comprennent :

- des capteurs de décharge partielle, p. ex. dans les manchons de raccordement,
- un monitoring de température à l'aide de fibres optiques dans la structure du câble ou dans la gaine extérieure de celui-ci.

La surveillance de la température de fonctionnement sert principalement à évaluer la résistance et la capacité de transport de courant maximales de l'installation de câblage. Cela permet de contrôler si cette dernière satisfait aux exigences du réseau respectivement quelles sont les réserves thermiques disponible. De plus, les éventuelles hausses de températures localisées peuvent ainsi être détectées à temps.

De l'avis des auteurs de l'étude, pour les systèmes de câbles du niveau de réseau 1, la surveillance permanente de la température correspond à l'état actuel de la technique et est par conséquent incontournable, dans la mesure où une partie des dysfonctionnements est due à une défaillance d'isolation provenant d'une surcharge ou à une surchauffe locale et entraînant un court-circuit ou un défaut à la terre.

Les courts-circuits dans un systèmes de câbles entraînent quasi systématiquement des dégâts à l'emplacement même du court-circuit nécessitant une mise à l'arrêt immédiate. Ainsi, la remise en service automatique doit être désactivée. Une modification du concept de protection du réseau est donc nécessaire.

Pour les galeries accessibles

Dispositifs techniques secondaires correspondants :

- système de ventilation pour l'arrivée/l'extraction d'air,
- équipements techniques pour l'exploitation d'une galerie accessible, tels que l'éclairage, les moyens de communications, etc.

4.5.5 Dispositions liées à l'exploitation

Exigences de disponibilité des systèmes de lignes individuels

La disponibilité normalement élevée d'une ligne aérienne est difficile à atteindre avec une installation de câblage. C'est ce que permettent de conclure les données relatives à la fréquence des défaillances [9]. Les défaillances de câble sont toutefois rares. Sur la base de ces mêmes données, on constate qu'un système de lignes de 15 km de long a peu de chances de connaître une défaillance au cours de ses 40 ans de durée de vie théorique.



Gestion des réserves de câbles et d'accessoires

Si une installation de câblage affiche en principe une faible probabilité de défaillance, la durée de la panne sera toutefois longue en raison du temps de réparation et de l'absence de remise en service automatique. Ce sont donc surtout des mesures permettant de réduire la durée de la panne et, par conséquent, d'éviter une indisponibilité prolongée de l'installation de câblage qui sont nécessaire.

Tableau 4: Mesures organisationnelles possibles

Dés.	Mesures organisationnelles	Aspect
0-1	 Les boucles de câble au niveau des terminaisons de câbles et des manchons doivent si possible être suffisamment grandes pour per- mettre de couper et de retirer les câbles en cas de réparation. 	Exploitation / entretien
0-2	 Afin de réparer le plus rapidement possible les rares cas de défail- lance d'un câble, le tronçon de câble le plus long peut être placé en stock. En cas de défaut sur un autre tronçon, le câble de remplace- ment pourra être raccourci en fonction. 	
O-3	 Les armatures et accessoires de câbles non altérables peuvent être conservés en stock. Pour toutes les autres pièces, le fournisseur des accessoires doit veiller à renouveler régulièrement son stock de fa- çon à éviter toute altération du matériel. 	

Désactivation de systèmes de lignes

En Suisse, le réseau de transport d'électricité 380/220 kV est surveillé par le poste de conduite du gestionnaire national du réseau Swissgrid. Toute désactivation, planifiée ou imprévue, d'un système de lignes peut uniquement être effectué par le poste de conduite du réseau.

4.6 Protection des usagers des transports

Rayonnement non ionisant (RNI)

En vertu des recommandations d'exécution de l'ORNI pour les lignes haute tension (OFEV 2007), la présence sur une route en tant qu'usager²² répond à la définition d'un « lieu de séjour momentané » (LSM). Ce sont des lieux accessibles aux personnes mais non considérés comme des lieux à utilisation sensible (LUS). Pour les lignes de transport d'électricité 50 Hertz, la valeur limite d'immissions de 100 µT pour la densité de flux magnétique doit y être respectée. Conformément à l'art. 14 al. 4 de l'ORNI, les immissions doivent être déterminées pour le mode d'exploitation de l'installation qui en produit le plus. La définition du courant déterminant s'effectue à cet égard selon la norme IEC 60287-

Les usagers des transports sont les conducteurs et les passagers des véhicules dans le cas d'une route et les passagers des trains dans le cas d'un chemin de fer.



1-1. L'ORNI ne règle pas la limitation des effets du rayonnement sur des appareils médicaux auxiliaires électriques ou électroniques comme les stimulateurs cardiaques (art. 2 al. 3).

Sur la base des déclarations de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), les LSM commencent à partir d'une distance de mesure de 0,2 m des surfaces qui les délimitent. Le respect de la valeur limite d'immissions pour le champ magnétique doit être justifié pour le LSM le plus proche de l'installation de câblage :

- Pour une route : 0,2 m au-dessus de la chaussée.
- Pour un chemin de fer : 0,2 m au-dessus du sol²³ et 0,2 m à partir des parois extérieures du véhicule ferroviaire.

En cas d'événement obligeant les usagers des transports à quitter les véhicules pour rejoindre les abris de secours, le chemin de fuite à travers les liaisons transversales, la galerie de sécurité ou une galerie technique n'est pas considéré comme un LSM en vertu des dispositions de l'OFEN. Les exigences relatives à la sécurité au travail du personnel exploitant peuvent néanmoins être déterminantes (voir chapitre 4.7).

4.7 Sécurité au travail

Rayonnement non ionisant (RNI)

Les collaborateurs du gestionnaire national du réseau Swissgrid, ainsi que les personnes mandatées par celui-ci, sont considérés comme du personnel exploitant et ne sont pas soumis à l'ORNI (art. 2 al. 2 let. a ORNI). Pour les travaux à proximité de la ligne de transport d'électricité, la valeur de limite de 500 µT fixée par la Suva [11] pour la densité de flux magnétique doit être respectée pour cette catégorie de professionnels²⁴.

Pour les autres catégories de personnel, par exemple celui de l'exploitant de l'infrastructure de support, il convient de respecter la valeur limite d'immissions plus stricte de 100 μT fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique^{25 26}.

Voies de fuite depuis les galeries accessibles

Les systèmes de câbles situés dans des galeries accessibles sont soumis à des exigences légales et normatives de sécurité du travail, qui dépendent du type d'ouvrage. Sur la base des agencements présentés et évalués dans les chapitres 3.4 et 3.5, c'est le cas de l'agencement A dans la variante avec une galerie technique (voir les variantes second tube du tunnel routier du Saint-Gothard, tunnel

- Pour les trains à plancher surbaissé, le plancher du véhicule se situe à env. 0,4 0,6 m au-dessus du sommet des rails.
- Selon [11] elle s'applique aux travailleurs de la production et de distribution d'énergie (chemins de fer, compagnies d'électricité, industrie) et des stations d'émission.
- Selon [10], page 87, la restriction suivante s'applique : « dès lors que l'exposition d'un poste de travail émane d'une source non liée à l'exploitation, les exigences de l'ORNI s'appliquent ».
- Selon l'OFEV, les postes de travail de ce personnel ne sont pas considérés comme des LUS, parce qu'il ne s'agit pas de locaux situés dans des bâtiments. Pour le personnel exploitant de l'infrastructure de support, qui y assure la distribution de l'énergie, les informations en [10] et [11] indiquent qu'il est également soumis à la valeur limite de la Suva.



de l'Uetliberg ou tunnel du San Bernardino dans la Figure 1) ou de l'agencement D avec une galerie de sécurité. En vertu de la Loi sur le travail (LTr), les postes de travail, les locaux, les bâtiments et les sites des entreprises doivent pouvoir être évacués de façon rapide et sûre en cas de danger. Les exigences constructives concrètes dont définies dans l'Ordonnance 4 relative à la loi sur le travail (OLT 4) ainsi que dans le Commentaire de l'OLT 4, entre autres dans le chapitre « Conditions particulières – Gaines techniques souterraines praticables ». L'OLT 4 s'applique en principe aux entreprises commerciales et industrielles. Du point du SECO, l'OLT 4 doit être appliquée aux installations à courant fort, même si celle-ci ont la forme d'un câblage dans un long tunnel souterrain. À l'inverse, l'OLT 4 ne s'applique pas, de l'avis des auteurs de l'étude, aux tunnels de circulation, ces derniers ne pouvant être assimilés à une entreprise commerciale ou industrielle (voir chapitre 7.2.3).

Dans le contexte du regroupement, deux types de galeries accessibles sont envisageables :

- Les galeries de conduites d'alimentation en énergie selon la norme SIA 205 sous forme d'installations de conduites accessibles dans les espaces routiers (eau, télécommunications, électricité, chauffage urbain, eaux usées). Au moins accessibles à quatre pattes, elles pourraient permettre d'accueillir les systèmes de câbles sous la chaussée, sur les tronçons ouverts des routes nationales.
- Les galeries techniques et de sécurité distinctes de l'espace de circulation des tunnels routiers ou ferroviaires, ainsi que les galeries techniques séparées qui sont généralement réalisées sous forme d'installation creusée selon la norme SIA 197/2.

Les deux types de galeries se distinguent nettement en termes de profondeur et d'accessibilité depuis la surface. Alors que les exigences formulées dans la norme SIA 205 correspondent en grande partie au commentaire sur l'art. 8 de l'OLT 4, dans les tunnels le standard de construction en diffère. Les chemins de fuite sont généralement plus longs, car dans les ouvrages creusés il est fondamentalement plus difficile voire impossible de créer des accès extérieurs avec des moyens raisonnables. Les autorités délivrant les autorisations peuvent toutefois demander l'examen et la mise en œuvre de mesures supplémentaires afin de garantir pleinement la sécurité au travail.

Dans les tunnels de circulation, il arrive fréquemment que les voies d'évacuation des locaux exclusivement accessibles au personnel d'exploitation de l'infrastructure de support, par exemple une gaine de ventilation au-dessus du faux-plafond ou une gaine technique sous la chaussée, ne répondent pas aux exigences de l'OLT 4. La norme SIA 197/2 et le Manuel technique Tunnel/Géotechnique de l'OFROU sont aussi partiellement en contradiction avec l'OLT 4 et les commentaires correspondants (p. ex. concernant l'accès au faux-plafond, la hauteur sous plafond des galeries techniques ou les gaines de ventilation).

Climat ambiant dans les galeries accessibles

Les facteurs environnementaux qui influencent la température du corps sont la température de l'air, l'humidité ambiante, le flux d'air et le rayonnement thermique. Le terme de climat ambiant inclut l'ensemble de ces facteurs environnementaux. Dans les tunnels de grande profondeur, comme le tunnel routier du Saint-Gothard, les galeries techniques peuvent atteindre une température de 30 – 35 °C et une humidité relative de 80 % sans apport de chaleur venant des câbles. Une installation de câblage placée dans une gaine technique peut atteindre des températures semblables voire supérieures en l'absence de ventilation.



Les valeurs limites de climat ambiant interviennent notamment dans le domaine des travaux souterrains. Selon la publication Suva 1903.f [11], la valeur limite pour les travailleurs intervenant dans les chantiers souterrains est de 28 °C de température sèche. Cette limite constitue également la valeur horaire moyenne à respecter dans les secteurs dans lesquels on travaille durant des périodes prolongées. La valeur limite s'obtient également à partir du diagramme climatique de la figure 1 de la publication Suva 2869/26.f [12]. On part du principe qu'aucun travail physique très lourd ne doit être réalisé. Par des mesures techniques, à savoir un système de refroidissement/ventilation efficace, on doit être en mesure de garantir le respect de la valeur limite ci-dessus. Pour les opérations de contrôle et de surveillance de courte durée, la valeur limite de température sèche de 28 °C peut être dépassée à condition que l'indice WBGT ne dépasse pas les 30 °C.

Travaux sur une ligne à haute tension et sur les lignes parallèles

En vertu de l'art. 95 de l'OLEI, les câbles à haute tension ayant de fortes puissances de court-circuit ou de mise à la terre peuvent uniquement être posés parallèlement à d'autres lignes de câbles ou croiser ces dernières à condition que des mesures de protection évitent la mise en danger des personnes ou des objets conformément à l'Ordonnance sur les installations à courant fort (Chapitre 4).

En cas de court-circuit, y compris en dehors du système de câbles (p. ex. sur la ligne aérienne située dans la continuité), de forts courants de court-circuit peuvent se former au sein du système de câbles. Ces courants de court-circuit peuvent à leur tour générer une tension induite dans d'autres systèmes de câbles, notamment ceux posés en parallèle. De même, des différences de potentiel peuvent survenir dans le système de compensation de potentiel (tensions de pas et de contact). Cette situation doit être prise en compte lors de la planification du concept de mise à la terre (voir chapitre 5.2.1, Mise à la terre et compensation de potentiel)



Tableau 5 : Mesures organisationnelles possibles en matière de sécurité du travail

Dés.	Mesures organisationnelles	Aspect
0-1	 En cas de travaux sur des câbles parallèles, ces derniers doivent dans la mesure du possible être mis hors service. En cas de câbles parallèles de grande longueur, la mise hors service est indispen- sable. 	Sécurité au tra-
O-2	 Les petits travaux de courte durée à proximité de câbles non protégés peuvent nécessiter un arrêt de sécurité. 	Sécurité au tra- vail
O-3	 Le risque temporaire lors de la construction et de l'entretien des deux infrastructures au sens de l'art. 10 de l'OLEI doit faire l'objet d'un ac- cord entre les exploitants respectifs de la ligne 380/220 kV et de la route nationale ou de la voie ferrée. 	Sécurité au tra-
0-4	 Pose spéciale des câbles à basse tension dans des gaines à protection CEM et/ou mise à la terre optimisée des systèmes de câbles parallèles. 	СЕМ

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Étude CEM incluant entre autres l'étude des tensions d'éclair et des surtensions en tenant compte des courants de court-circuit maximums.

Calcul des tensions de pas et de contact.

Détermination d'un système de mise à la terre ou de compensation de potentiel coordonné (voir chapitre 5.2.1, Mise à la terre et compensation de potentiel)

4.8 Influence réciproque

En fonctionnement

Les phénomènes CEM du système de câbles à haute tension, comme p. ex. les tensions induites dans des conducteurs métalliques parallèles ou les courants de fuite à la terre et la chaleur dissipée, peuvent avoir une influence considérable sur d'autres composants électriques de l'infrastructure de support. C'est pourquoi ces systèmes doivent si possible être spatialement séparés et obligatoirement protégés les uns des autres.

Séparer la section du tunnel en un espace de circulation et une galerie technique permet de limiter les influences réciproques (séparation de la circulation et de l'électricité) sous réserve de conformité du concept de mise à la terre.

Le tableau ci-dessous décrit les principales influences réciproques – effets de l'infrastructure déclencheuse sur l'infrastructure affectée – en état de fonctionnement. Celles-ci dépendent de l'agencement du tunnel. Par analogie, elles s'appliquent également aux agencements à ciel ouvert ou sur les ponts.



Tableau 6 : Influences réciproques en fonctionnement

Infrastructure déclencheuse	Effets de mode de fonctionnement	Infrastructure affectée	État
Chemin de fer	Courants de retour des caténaires dans le réseau d'alimentation électrique : Possibilité de migration de potentiel. Risque de hausse de tension (de pas et de contact) en cas de défaut à la terre au niveau des gaines de câbles et des conducteurs de phase.	Électricité	Fonctionne- ment normal
Chemin de fer	Accidents de tous types ou évacuations de trains dans un tunnel: Les personnes en fuite (chemin de fuite partiellement au-dessus de la ligne électrique, si cette dernière est intégrée à l'accotement) ne sont pas soumises aux exigences RNI étant donné qu'il ne s'agit pas d'un LSM. La valeur limite d'immissions fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit cependant être respectée si la voie piétonne est aussi utilisée par le personnel exploitant de l'infrastructure de support. Sous réserve d'une désactivation préventive si des trains doivent être évacués dans le tunnel (pourrait affecter les porteurs d'un stimulateur cardiaque).	Électricité	Fonctionne- ment normal
Chemin de fer	Coupure de tronçon : En principe sans influence sur la transmission du courant et la maintenance. L'accès à la ligne (niches de jonction) peut toutefois être perturbé.	Électricité	Fonctionne- ment normal
Route	Accidents par collision sans incendie (y compris sauvetage): En principe sans influence sur la transmission du courant. Les personnes en fuite dans la galerie technique ne sont pas soumises aux exigences RNI étant donné qu'il ne s'agit pas d'un LSM. La valeur limite d'immissions fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit cependant être respectée si la galerie technique est aussi utilisée par le personnel exploitant de l'infrastructure de support. une coupure de courant pourrait être envisagée de manière préventive en cas d'évacuation de trains (pourrait affecter les porteurs d'un stimulateur cardiaque).		Fonctionne- ment normal
Route	En cas d'incendie : voir Tableau 8 Fermeture de tunnel : En principe sans influence sur la transmission du courant. L'accès à la ligne (niches de jonction) est toutefois perturbé.	Électricité	Fonctionne- ment normal
Route	Gestion du trafic / embouteillages : L'état du trafic n'a en principe aucune influence sur la transmission du courant ou la maintenance. L'accès à la ligne (niches de jonction) peut toutefois être perturbé.	Électricité	Fonctionne- ment normal
Électricité	Évacuation de la chaleur dans les tunnels ferroviaires / routiers : Les déperditions d'énergie de l'installation de câblage peuvent réchauffer l'espace de circulation ou les locaux techniques directement via l'air ambiant (dans une galerie technique) ou indirectement par l'intermédiaire des éléments de construction environnants. Ceci génère un apport de chaleur supplémentaire, en plus de la chaleur terrestre.	Route / chemin de fer	Fonctionne- ment normal



Infrastructure déclencheuse	Effets de mode de fonctionnement	Infrastructure affectée	État
Électricité	RNI sur les usagers des transports : Les champs électromagnétiques sont susceptibles d'affecter la santé ou le bien-être des usagers des transports, voir chapitre 4.6	Route / chemin de fer	Fonctionne- ment normal
Électricité	Influence sur la CEM des EES / installations techniques ferroviaires: Les surtensions, dues entre autres à la foudre, à des opérations de commutation entraînant des surtensions transitoires et à des défaillances internes ou externes du système de câbles, sont susceptibles de se propager à d'autres composants de l'infrastructure. Les champs magnétiques, générés par le courant de charge normal, des courants de court-circuit dans la ligne de transport d'électricité ou l'association de différents systèmes de mise à la terre, peuvent perturber d'autres systèmes électriques. En cas de court-circuit, les courants de retour agissent par le biais de la terre.	Route / chemin de fer	Fonctionne- ment normal

Lors de l'entretien

Si l'espace de circulation et l'installation de câblage ne sont pas séparés spatialement, l'accès à cette dernière se fait nécessairement par l'espace de circulation. Dans ce cas, la pose de câbles de remplacement dans les niches de tunnel (élargissements d'arrêt) doit être effectuée par l'intermédiaire de chambres de jonction ou de tirage de câbles.

La séparation de la section du tunnel en un espace de circulation et une galerie technique permet davantage de souplesse pour le tirage des câbles électriques (séparation circulation/électricité) et de procéder à la pose des câbles à partir de l'entrée du tunnel, sans affecter l'espace de circulation. Dans certains cas, les câbles doivent être tirés sur de longues distances à travers la galerie technique.

Le tableau ci-dessous décrit les principales influences réciproques lorsque des travaux d'entretien sont menés dans l'une des infrastructures. Celles-ci dépendent de l'agencement du tunnel. Par analogie, elles s'appliquent également aux agencements à ciel ouvert ou sur les ponts.

Tableau 7 : Influences réciproques lors de l'entretien

Infrastructure déclencheuse	État	Incidences	Infrastruc- ture affectée	État	Type d'agencement
Électricité	Fonction- nement normal	Tensions longitudinales induites: Survenue de tensions de contact dangereusement élevées lors de travaux d'entretien d'un chemin de fer/d'une route (électrisation, petits arcs électriques). RNI sur le personnel d'entretien: de l'infrastructure de support chemin de fer/route	Chemin de fer / route	Entretien	en particulier sans sépara- tion spatiale
Route	Entretien	Travaux d'entretien (réparation): La ligne électrique (câbles, manchons) peut être endommagée par les travaux. Coupure de courant nécessaire lors des travaux de réparation, en particulier si ceux-ci ont lieu sous la voie de circulation.	Électricité	Fonction- nement normal	sans sépara- tion spatiale



Infrastructure déclencheuse	État	Incidences	Infrastruc- ture affectée	État	Type d'agencement
Chemin de fer	Entretien	Rénovation des rails et des fondations : Coupure de courant probablement nécessaire (en particulier si les câbles sont dans le lit de ballast). La valeur limite d'immissions fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit être respectée (pour le personnel exploitant de l'infrastructure de support). La ligne électrique (câbles, manchons) peut être endommagée par des travaux sur l'accotement.	Électricité	Fonction- nement normal	sans sépara- tion spatiale
Route / chemin de fer	Entretien	Travaux d'entretien sur des lignes paral- lèles : obligent à la désactivation de l'installation de câblage pour des raisons de sécurité.	Électricité	Fonction- nement normal	en particulier sans sépara- tion spatiale
Électricité	Entretien	Maintenance / contrôles visuels / vérifica- tion sur site : accès via une galerie tech- nique ou de secours : sans influence sur le trafic.	Route	Fonction- nement normal	avec sépara- tion spatiale
Électricité	Entretien	Maintenance / contrôles visuels / vérifica- tion sur site : accès via le tunnel, véhicules dans les élargissements d'arrêt. En principe sans influence sur le trafic.	Route	Fonction- nement normal	sans sépara- tion spatiale
Électricité	Entretien	Maintenance / contrôles visuels / vérifica- tion sur site : contrôles des tronçons à coordonner avec les services ferroviaires.	Chemin de fer	Fonction- nement normal	sans sépara- tion spatiale
Électricité	Entretien	Pose de câbles / gros travaux d'entretien : accès via une galerie tech- nique ou de secours : sans influence sur le trafic.	Route	Fonction- nement normal	avec sépara- tion spatiale
Électricité	Entretien	Pose de câbles / gros travaux d'entretien : accès via le tunnel, le trafic doit être interrompu si les poids lourds ne peuvent pas stationner dans les élargisse- ments d'arrêt pour des raisons de place. Dans ce cas, une fermeture du tunnel est nécessaire.	Route	Fonction- nement normal	sans sépara- tion spatiale
Électricité	Entretien	Pose de câbles / gros travaux d'entretien : Mise en place de fermetures de nuit ou de week-end avec transports de substitution aux trains nécessaires.	Chemin de fer	Fonction- nement normal	sans sépara- tion spatiale



En matière de sécurité

Le tableau ci-dessous décrit les principales influences réciproques consécutives à des événements de grande envergure. Celles-ci dépendent de l'agencement du tunnel. Par analogie, elles s'appliquent également aux agencements à ciel ouvert ou sur les ponts. L'analyse des risques correspondante se trouve dans l'annexe 2 « Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen », dont un résumé figure au chapitre 0.

Tableau 8 : Influence réciproque en matière de sécurité

Infrastruc- ture déclen- cheuse	Événements	Infrastruc- ture affectée	Type d'agencement
Route / che- min de fer	Incendie dans le tunnel: Dégâts sur la ligne électrique peu probables car faible exposition aux effets thermiques. Les personnes en fuite dans la galerie technique ne sont pas soumises aux exigences RNI étant donné qu'il ne s'agit pas d'un LSM. La valeur limite d'immissions fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit cependant être respectée si la galerie technique est aussi utilisée par le personnel exploitant de l'infrastructure de support. Sous réserve d'une coupure de courant préventive en cas de présence de personnes en fuite dans la galerie technique (pourrait affecter les porteurs d'un stimulateur cardiaque).	Électricité	A ou D : avec séparation spatiale
Route / che- min de fer	Incendie dans le tunnel : Des dégâts sur la ligne électrique ne peuvent être exclus en raison de son exposition aux effets thermiques. Coupure de courant nécessaire si les mesures de la température déclenchent une alerte.	Électricité	A ou B : sans séparation spatiale
Électricité	Court-circuit dans une ligne électrique avec déflagration : Des dégâts sur l'infrastructure de support sont possibles. L'espace de circulation, c'est-à-dire le trafic routier ou ferroviaire, est assez peu affecté. Cependant le tunnel doit être fermé dès lors que la voie d'évacuation n'est plus fonctionnelle. La réparation non planifiée nécessite de la place dans le tunnel. Des restrictions sont à prévoir.	Route / che- min de fer	A ou D : avec séparation spatiale
Électricité	Court-circuit dans une ligne électrique avec déflagration : Des dégâts sur l'infrastructure de support sont possibles. Le tunnel doit être fermé pendant un ou plusieurs jours. La réparation non planifiée nécessite de la place dans le tunnel. Des restrictions sont à prévoir.	Route	A – sans sépara- tion spatiale
Électricité	Court-circuit dans une ligne électrique avec déflagration : Des dégâts sur l'infrastructure de support (accotement, autres câbles) sont possibles. La réparation non planifiée (creusement) peut éventuellement nécessiter une fermeture prolongée du tunnel la nuit ou le week-end, voire une fermeture totale.	Chemin de fer	B – sans sépara- tion spatiale



4.9 Évolution des risques en raison du regroupement

Ce chapitre est un résumé de l'annexe 2 « Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen », qui fournit une estimation exhaustive des risques. Il étudie notamment quels changements implique le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des installations ferroviaires en termes de risques, et quel part de cette évolution des risques relève des exploitants des infrastructures de support et de Swissgrid (co-utilisateur). Enfin, il examine si ces risques sont acceptables et quelles mesures peuvent être prises pour les atténuer.

4.9.1 Structure de l'analyse des risques

L'analyse des risques des systèmes groupés et non groupés a été menée sur la base de scénarios sélectionnés, susceptibles de se traduire par des dégâts conséquents. Concrètement, les événements suivants ont été examinés :

incendie d'un véhicule

tremblement de terre

collision d'un véhicule

avalanche

dissémination de matières dangereuses (route)

inondation

incendie d'un train de marchandises

bombardement d'une infrastructure

collision d'un train

cybercrime

dissémination de matières dangereuses

défaillance spontanée d'un ouvrage

(chemin de fer)

événement majeur externe

court-circuit, incendie, onde de choc

fuite de gaz (des lignes câblées)

Trois indicateurs ont été utilisés pour quantifier l'ampleur des dommages :

- dommages corporels (morts et/ou blessés)
- dommages matériels directs
- dommages indirects (dommages consécutifs comme p. ex. surcoût dû aux détours nécessaires)

Afin d'agréger toute l'ampleur des dommages et permettre la comparaison, les trois indicateurs sont monétisés afin d'exprimer les dégâts en CHF.

La présente étude ne reposant pas sur des projets de regroupement concrets, la fréquence de survenue des scénarios envisagés est déterminée sur un tronçon d'un kilomètre, respectivement avec et sans regroupement. L'ampleur des dégâts des différents scénarios a été estimée de façon globale, c'est-à-dire sans tenir compte des agencements spécifiques. Ces critères de comparaison standardisés permettent la comparaison entre les situations avec et sans regroupement.

Dans le cadre de l'analyse des risques, les résultats sont regroupés par

— types de tronçons (tronçons ouverts, ouvrages d'art et tunnels), car ceux-ci ne sont pas tous exposés de la même façon aux scénarios sélectionnés ;



 intensité d'utilisation des tronçons, car ce facteur influence la probabilité de survenue des scénarios envisagés. L'utilisation des tronçons est révélée sur les routes par le trafic journalier moyen (TJM) et pour les chemins de fer en trajets ferroviaires quotidiens.

4.9.2 Conclusions de l'analyse des risques

Scénarios déterminants

La Figure 8 représenté les risques des scénarios ci-dessus avec et sans regroupement.

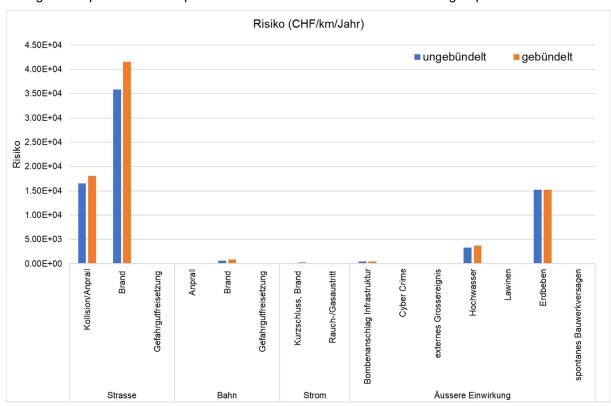


Figure 8 : Risques des scénarios étudiés (monétisés, normalisés sur une distance de 1 km, par année)

Dans l'analyse, les quatre scénarios « collision route », « incendie route », « inondation » et « tremblement de terre » se démarquent de autres :

En cas de regroupement avec la route en guise d'infrastructure de support, il faut compter avec une légère augmentation des risques pour les scénarios dominants que sont la collision et l'incendie. Cette augmentation s'explique principalement par l'ampleur accrue des dégâts dans un tunnel routier. En cas de regroupement avec une voie ferrée en guise d'infrastructure de support, les risques et leur augmentation sont nettement inférieurs pour les scénarios correspondants. Dans le scénario d'un tremblement de terre, il faut s'attendre à des dégâts sur une surface plus importante. Ici, l'analyse n'a pas mis en évidence de différence de risque entre les variantes groupées ou non. Pour le scénario de



l'inondation, les risques s'annoncent légèrement supérieurs avec la version groupée car, au niveau des tronçons ouverts inondés, une intrusion d'eau dans les galeries techniques situées en-dessous ou à côté de l'infrastructure de support est possible. L'augmentation des risques dans les scénarios examinés ci-dessus concerne toutes les infrastructures regroupées et est en majeure partie occasionnée par les deux infrastructures de support.

Si l'analyse des risques est divisée en fonction des types de tronçons, il apparaît que les risques sont légèrement supérieurs en cas de regroupement dans un tunnel, en comparaison à la variante sans regroupement où la ligne électrique traverse la montagne. Ceci s'explique par l'ampleur supérieure des dommages des scénarios de collision et d'incendie. Sur les tronçons ouverts, les risques ne diffèrent que de façon marginale entre les variantes groupées ou non.

Modification du profil de risque en raison du regroupement

Selon la situation géographique d'un tronçon avec ou sans regroupement, les profils de risque diffèrent. Un tronçon situé dans les Alpes est exposé à d'autres influences extérieures qu'un tronçon situé sur le Plateau suisse. Deux exemples illustrant cette différence sont examinés dans l'annexe 2 « Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen ».

Acceptabilité des risques

En ce qui concerne les dommages aux personnes, l'acceptabilité des risques a été analysée à l'aide de deux critères d'acceptation pour les usagers de la route et les passagers des trains. Ce point est documenté en détail dans l'annexe 2 « Risikoveränderungen durch multifunktionale Infrastrukturen ». Que l'on soit en présence d'un regroupement ou non, tous les scénarios envisagés présentent un niveau de risque faible, c'est-à-dire en-dessous ou au niveau des valeurs limites définies par l'OFROU ou l'OFT/CFF/BLS pour les taux de mortalité liés à l'usage des routes et des chemins de fer. Dans les deux cas, les risques émanent avant tout des infrastructures de support.

Évaluation des agencements

Si l'on voulait quantifier les risques au niveau des agencements de regroupement individuels, les mécanismes d'action de chaque scénario devraient être étudiés en détail, afin d'en déterminer l'ampleur spécifique des dommages et leur probabilité. De telles analyses supposent toutefois de disposer de projets de regroupement concrets, dont les dimensions, les agencements de câbles, la charge de trafic, les mesures de sécurité, etc. sont connus. Or, de telles informations n'étaient pas disponibles dans le cadre de cette étude.

C'est pourquoi, les différentes possibilités d'agencement en cas de regroupement ont fait l'objet d'une comparaison qualitative (voir Figure 9). À cet égard, leur sécurité a été évaluée selon les catégories suivantes :



Tableau 9 : Catégories d'évaluation de la sécurité des agencements de regroupement

Catégorie	Signification	
++	Très bonne protection	
+	Bonne protection	
0	Protection suffisante	
-	Protection déficiente	
- – Mauvaise protection		

Agencement du regroupement	A	B.	D	E. Offene Strecke	F. Offene Strecke	G Kunstbauten
Incendie-Route	_		+	_	0	_
Collision-Route	+		+ +	+	+ +	+
Dissémination de matières dangereuses-Route	-		+/0	-	0	-
Incendie-Chemin de fer		-	+	-	0	-
Collision-Chemin de fer			+ +	+	+ +	+
Dissémination de matières dangereuses-Chemin de fer			+/0	-	0	-
Court-circuit/arc élec- trique/onde de choc-Ligne électrique	0	_	+	0	+	0
Dégagement de gaz/fumée- Ligne électrique	0		++	0	+	0
Tremblement de terre						
Avalanche	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +
Inondation	_	_	-			0
Attentat	_	_	0	++	++	
Cybercrime						
Défaillance d'ouvrage						
Événement majeur externe	+ +	++	++	_	_	_

Figure 9 : Évaluation qualitative des agencements A – G pour les différents scénarios (comparaison horizontale, c'est-à-dire dans la même catégorie d'évaluation – pas d'évaluation globale)



Du point de vue de la sécurité, une séparation spatiale aussi importante que possible entre les deux infrastructures regroupées est préférable. C'est pourquoi, dans un tunnel, les agencements A et D sont mieux jugés que l'agencement B en termes de sécurité, tandis qu'à ciel ouvert l'agencement F est préféré à l'agencement E.

Ceci tient compte du fait que l'agencement A est pertinent pour un regroupement « Route – Ligne électrique » et l'agencement B pour le regroupement avec une voie ferrée. Le scénario de défaillance d'ouvrage est uniquement examiné pour les ouvrages d'art. Sur les tronçons ouverts et dans les tunnels, une défaillance spontanée de l'ouvrage après la mise en service n'est pas significative.

Étant donné qu'il ne s'agit pas de variantes, une comparaison globale des agencements de regroupement ne serait pas pertinente. L'évaluation qualitative du tableau ci-dessus se limite à la comparaison par scénario.

Mesures du point de vue de la sécurité

Pour les différents agencements de regroupement, des mesures susceptibles de diminuer la probabilité de survenue ou l'ampleur des dégâts d'un scénario ont été identifiées sur le plan organisationnel, constructif et technique. Les frais d'investissement et d'exploitation ainsi que la réduction envisageable des risques ont été évalués pour ces mesures et le rapport coût/efficacité de chacune d'elles a ainsi été déterminé. Il est apparu que les mesures organisationnelles présentaient un rapport coût/efficacité favorable. Elles permettent une réduction sensible des risques pour un coût relativement faible. La même chose vaut pour la disposition pertinente des manchons qui, conjuguée à d'autres mesures constructives, fait partie des exigences de regroupement détaillées dans le chapitre 5.



5 Exigences liées au regroupement

5.1 Conditions

Le regroupement doit fondamentalement être préféré à toute autre solution si le modèle d'évaluation pour les lignes de transport d'électricité de l'OFEN, p. ex. dans le cadre d'un processus de plan sectoriel, le fait apparaître comme la meilleure alternative. C'est le cas lorsque la prise en compte des critères de base des volets « développement territorial », « environnement », « aspects techniques » et « rentabilité » conduit globalement au meilleur résultat.

À cet effet, le regroupement des lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires doit s'articuler autour des exigences de base suivantes :

- les risques liés au regroupement restent d'un niveau acceptable et toutes les mesures ayant un rapport coûts-avantages approprié sont mises en œuvre; les gênes réciproques dues au regroupement peuvent être réduites;
- des effets de synergie permettent de faire des économies par rapport à un câblage non groupé;
- l'utilisation mesurée du sol garantit la viabilité écologique, même en tenant compte du raccordement au réseau aérien de transport d'électricité existant, à l'aide d'ouvrages de transition.

Les regroupements peuvent cependant aussi s'avérer pertinents lorsque leur utilité en termes de développement du territoire et de protection de l'environnement est nettement supérieure à celle d'une variante non groupée, même si l'avantage financier est perdu.

La réalisation des objectifs d'utilisation mesurée du sol dépend de la possibilité de cumuler les usages d'une infrastructure de support existante²⁷ (utilisation multifonctionnelle) ou du moins de procéder à une pose parallèle (regroupement).

Plus précisément, cette démarche implique les exigences détaillées ci-après.

5.2 Exigences de réalisation technique

5.2.1 Exigences générales

Réaction au feu des câbles

Pour les projets de regroupement avec un axe routier ou ferroviaire, les classifications de réaction au feu des câbles et les exigences de test applicables aux infrastructures de support concernées doivent être prises en compte. Ces règles sont basées sur l'Ordonnance sur les produits de construction et

en l'occurrence les zones dédiées au transport routier ou ferroviaire



sur la norme SN EN 50575 et divergent des exigences de test des câbles à haute tension en vigueur jusque-là. Les exigences de test ne sont donc pas directement comparables (voir Tableau 10).

Avec l'introduction de règles uniformes pour l'évaluation des produits de construction au sein de l'Union européenne, tous les câbles d'installation doivent depuis 2016 être vérifiés et classifiés en fonction de leur réaction au feu pour les applications générales du bâtiment. En vertu de l'Ordonnance sur les produits de construction et de la norme SN EN 50575, les fabricants doivent fournir une déclaration de performance pour les câbles qu'ils mettent en circulation. Étant donné que les câbles à haute tension des exploitants du réseau n'avaient encore jamais été utilisés dans le domaine public, ils n'étaient jusqu'à lors pas concernés par ces dispositions. En cas de regroupement, les conditions-cadres ne sont cependant plus les mêmes.

Tableau 10 : Classification et exigences de test des câbles

Applications géne classification de l selon SN EN 1350	a réaction au feu des câbles	Essais de réaction au feu des câbles à haute tension des exploitants de réseau
Classes principales	Dégagement de chaleurPropagation des flammes	 Difficilement inflammable d'après SN EN 60332-1
A _{ca} -F _{ca}		 Propagation du feu réduite (ou faible) d'après SN EN 60332-3-24
Classes com-	 Dégagement de fumée 	 Faible densité de fumée (dégagement de fumée minime) d'après SN EN 61034-1 / SN EN 61034-2
plémentaires	Gouttelettes enflamméesFormation de gaz corrosifs (acidité)	 Faible toxicité (absence d'halogènes et de gaz corrosifs) d'après SN EN 60754-1 / SN EN 60754-2

Route: La classification selon la norme SN EN 13501-6 a été adoptée. Pour les installations de câblage <u>utilisées sur les routes nationales</u> (en principe jusqu'à 50 kV), l'OFROU définit les exigences dans la fiche technique 23 001-12130 Câbles comme suit :

- Tronçons ouverts : ignifuge et sans halogènes (classification du comportement au feu : Fca).
- Dans les tunnels > 100 m, les galeries techniques, les galeries de sécurité et les batteries de tubes, des câbles de classe C_{ca}-s1,d1,a1 sont exigés.
- Si une galerie technique sert également de voie d'évacuation, des câbles de classe B2cas1,d1,a1 doivent être utilisés.
- Si des câbles à haute tension sont posés dans des batteries de tubes dédiés, la classe de câbles F_{ca} s'applique. Si des câbles à haute tension sont posés dans une galerie technique, les exigences supérieures de cette dernière s'appliquent.

<u>Chemin de fer :</u> La classification selon la norme SN EN 13501-6 a été partiellement adoptée. Pour les installations de câblage <u>dans le domaine</u> des infrastructures ferroviaires, les dispositions d'exécution



de l'ordonnance sur les chemins de fer DE-OCF relatives aux art. 44, art 44b, chiffre 4 concernant la réaction au feu des câbles s'appliquent. Les câbles situés dans des tunnels ou des endroits particuliers doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- faible inflammabilité,
- propagation réduite du feu,
- faible densité de fumée,
- faible toxicité.

Ils satisfont à ces critères s'ils respectent une des exigences suivantes :

- classification B2ca, s1a, a1 selon la décision de la Commission 2006/751/EC28
- ou conformité à
 - O SN EN 60332-3-24 (faible propagation du feu)
 - O SN EN 61034-1 / SN EN 61034-2 (dégagement de fumée minime)
 - O SN EN 60754-1 / SN EN 60754-2 (absence d'halogènes et de gaz corrosifs)²⁹

Les matériaux de gaines FRNC (Flame Retardant Non Corrosive) des câbles à haute tension satisfont au minimum à la classe de protection incendie E. La mise en œuvre de câbles à haute tension 380/220 kV n'étant jusqu'ici pas prévue dans l'exploitation ferroviaire et les installations de l'OFROU, dans le cas d'un projet concret les exigences détaillées de comportement au feu devront être clarifiées avec l'exploitant de l'infrastructure de support.

En vertu de la DE-OCF relatives aux art. 44, art 44b, chiffre 4, la classe de limitation de propagation du feu requise peut également être atteinte grâce à une pose appropriée ou une protection adaptée des câbles.

Pose de lignes câblées

Les prescriptions de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) doivent être pleinement respectées pour la pose de lignes câblées. Il s'agit essentiellement des directives de pose, des écarts prescrits en cas de tracé parallèle de plusieurs lignes ou par rapport à d'autres installations, de la protection contre les interférences, de la prévention des influences des lignes, du rapport aux autre lignes ou infrastructures, ainsi que de la protection incendie.

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Les attestations suivantes doivent être fournies dans le périmètre du regroupement :

a) Les prescriptions de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) sont respectées, notamment les articles 7, 8 et 9, dans tous les états de fonctionnement et cas de défaut de la ligne électrique.

correspond à une classification selon la norme SN EN 13501-6

ou conformité à SN EN 50267-2-1 / SN EN 50267-2-2 (corrosivité des gaz de combustion)



b) Des mesures sont prises conformément à l'art. 95 OLEI afin d'éviter la mise en danger réciproque de personnes ou d'objets en cas de pose parallèle ou de croisement de la ligne de transport d'électricité avec d'autres lignes câblées.

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Selon l'art. 7 de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI), sous réserve de difficultés extraordinaires, les lignes électriques doivent être construites, modifiées et entretenues de façon que, indépendamment de leur état et leur charge, elles ne perturbent pas de manière intolérable ni les installations à courant fort ou à courant faible ni les autres équipements électrotechniques, ces installations et ces équipements étant exploités conformément à leur destination.

Selon le modèle d'influence, les mesures de réduction des interférences électromagnétiques suivantes sont possibles :

- Éviter l'apparition des facteurs de perturbation par des mesures directement à la source des interférences.
- Empêcher/atténuer la propagation des facteurs de perturbation par des mesures au niveau des voies de transmission.
- Améliorer la résistance aux perturbations et à la destruction du dispositif susceptible (dans la mesure du possible).
- Découpler les systèmes émetteurs et récepteurs des perturbations par partitionnement en plusieurs zones électromagnétiques.
- Mesures organisationnelles : annoncer les processus de commutation déclenchés délibérément, éviter les opérations de commutation au mauvais moment.

En cas de regroupement d'infrastructures, la ligne à tension apparaît comme une source supplémentaire de perturbations CEM. L'installation de câblage peut émettre des perturbations électromagnétiques (émission), qui sont absorbées (émission) par d'autres appareils ou dispositifs faisant office de récepteur (dispositif susceptible). Le fonctionnement d'un dispositif sensible peut ainsi être influencé très fortement, ce qui peut dans le pire des cas entraîner une panne totale d'autres composants électriques de l'infrastructure.

- Les mécanismes de couplage suivants entre une source de perturbations CEM (installation de câblage de la ligne de transport d'électricité) et des dispositifs susceptibles doivent être examinés, et il doit être démontré que les mécanismes CEM ci-après sont maîtrisés au sein des infrastructures regroupées :Couplage galvanique : pour maîtriser ce couplage, il convient de créer un concept de mise à la terre avec évaluation de la compensation de potentiel (voir aussi à ce sujet, la section consacrée à la mise à la terre et à la compensation de potentiel). Les systèmes de câbles à tension doivent être mis à la terre individuellement avec un ou deux conducteurs d'équipotentialité de terre.
- Couplage capacitif (également appelé couplage électrique): pour maîtriser ce couplage, il convient d'effectuer une étude des surtensions. Les surtensions, qui peuvent être dues entre autres à la foudre, à des opérations de commutation entraînant des surtensions transitoires et à des défaillances internes ou externes du système de câbles, sont susceptibles de se propager à d'autres composants de l'infrastructure.



Couplage inductif (également appelé couplage magnétique) : en même temps que le concept de mise à la terre et l'étude des surtensions, il convient d'analyser le couplage inductif. Les courants de court-circuit et les courants de démarrage peuvent propager une tension excessive vers d'autres composants de l'infrastructure. La définition de tronçons de câbles individuels et un système de mise à la terre approprié (conducteur d'équipotentialité de terre et traitement approprié de l'écran de gaine, par exemple mise à la terre unilatérale ou crossbonding) permettent de respecter les tensions de pas et de contact applicables.

Il convient de distinguer systématiquement entre le fonctionnement normal et les situations de défaut (en particulier pour la mise à la terre).

À l'exception d'autres câbles à haute tension, l'infrastructure de support ne génère pas d'interférences sur les lignes électriques. Les dispositifs de surveillance de température et les systèmes de mesure de décharge partielle utilisent de la fibre optique, ce qui les rend insensibles en termes de CEM.

Tableau 11: Mesures possibles pour la CEM

Dés.	Mesures structurelles		Aspect
	_	Séparation des émissions perturbatrices / Résistance aux perturbations par des espaces physiques (écarts) et/ou d'autres procédés d'atténuation électromagnétique.	
	_	Détermination de valeurs limites de CEM admissibles sous la forme d'un plan de zonage CEM, qui peut par exemple se présenter comme suit :	
S-1		 Zone 0 : protection extérieure contre la foudre, système d'électrodes de mise à la terre 	CEM
		 Zone 1 : blindage de l'armature 	
		 Zone 2 : blindage du local 	
		 Zone 3 : blindage des équipements de l'installation 	
		 Zone 4 : installations sensibles 	
S-2	_	Couplage galvanique : le conducteur d'équipotentialité de terre est généralement croisé au centre de l'installation de câblage (agencement géométrique selon le type de pose de l'installation de câblage). Section minimum équivalente à celle du blindage du câble.	CEM

Dés.	Mesures structurelles	Aspect
P-3	 Couplage capacitif : simulation des défauts dans une étude de sur- tension pour démontrer que les tensions de pas et de contact appli- cables, ainsi que les niveaux de perturbation des récepteurs sont respectés conformément aux normes CE. 	СЕМ



Étude CEM globale incluant entre autres l'étude des tensions d'éclair et des surtensions en tenant compte des courants de court-circuit maximums : simulation des défauts pour démontrer que les tensions de pas et de contact applicables et les niveaux de perturbation autorisés ne sont pas dépassés.

CEM

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

- a) L'ensemble des phénomènes CEM, pouvant être provoqués par les états de fonctionnement et les défauts potentiels des câbles de transport d'électricité et susceptibles d'avoir des effets inacceptables sur l'infrastructure de la route nationale ou du chemin de fer, ainsi que les éventuels phénomènes CEM pouvant être transmis de l'extérieur par la ligne électrique aux infrastructures doivent être déterminés
- b) Les valeurs limites CEM admissibles dans la zone d'influence CEM de la ligne électrique doivent être définies.
- c) Des mesures visant à respecter les valeurs limites CEM fixées dans la zone d'influence de la ligne électrique doivent être ordonnées. Tous les états de fonctionnement et défauts potentiels de la ligne de transport d'électricité doivent être vérifiés.

Mise à la terre et compensation de potentiel

La mise à la terre doit être planifiée de telle façon que les exigences de protection des personnes et du matériel ainsi qu'un fonctionnement irréprochable des installations électriques soient garantis en situation normale et de défaillance. La coordination de l'ensemble des besoins et exigences des partenaires individuels du regroupement nécessite un concept global de mise à la terre.

La mise à la terre des ouvrages, des équipements et des installations ferroviaires implique la rencontre de différents systèmes dans le cadre du regroupement. En particulier en cas de regroupement avec une voie ferrée, une installation de câblage parallèle sera également exposée au couplage électromagnétique par la ligne de retour de traction, ce qui nécessite un concept optimal de courant de retour de traction (contrôlé via les rails et les fils de terre).

La mise à la terre et la compensation de potentiel des systèmes de mise à la terre doivent être vérifiées au cas par cas. Les réglementations et directives ci-après constituent une assistance à cet égard :

- Pour les chemins de fer, la réglementation D RTE 27900 « Manuel des conducteurs de retour de courant et des mises à la terre » présente une vue d'ensemble des aspects centraux et des concepts de solutions éprouvés dans la pratique, sur la base de prescriptions officielles et techniques, ainsi que des normes applicables (Ordonnance sur les installations à courant fort, OLEI).
- Pour la route, la directive de la Direction des travaux publics du canton de Zurich « CEM, mise à la terre, protection contre la foudre » (parties 1-4) fournit par exemple un concept CEM cohérent pour les tunnels, les tronçons ouverts et les ponts, où la mise à la terre et la compensation de potentiel revêtent une importance centrale.



<u>Chemin de fer :</u> En application de la réglementation D RTE 27900, l'élaboration d'un concept global de mise à la terre suppose une coordination minutieuse entre tous les exploitants d'installations électriques, telles que les installations d'énergie ferroviaire, de courant de traction, de sécurité, de télécommunication et de basse tension. Il en va de même entre les exploitants d'installations connexes au domaine ferroviaire, tels que les compagnies d'électricité ou les opérateurs de réseaux, concernés en cas de regroupement.

<u>Route</u>: Pour assurer la compatibilité électromagnétique et la mise à la terre des nombreux éléments électromécaniques associés aux routes à grand débit, ainsi que la compensation de potentiel, la directive de la Direction des travaux publics du canton de Zurich recommande l'élaboration d'un concept de protection intégral.

Tableau 12 Mesures d'élaboration d'un concept de mise à la terre

Dés.	Mesures procédurales	Aspect
P-1	 Route: Les mesures nécessaires contre les influences réciproques indues entre les systèmes de mise à la terre au sens de l'art. 8 OLEI doivent faire l'objet d'une concertation entre les exploitants des infrastructures de la ligne électrique et l'OFROU. En complément des prescriptions de mise à la terre des installations électriques figurant dans l'ordonnance sur les installations à courant fort et l'ordonnance sur les lignes électriques, celles du manuel technique de l'OFROU sur les équipements d'exploitation et de sécurité s'appliquent également aux ouvrages et installations des routes nationales. 	Protection des personnes et du matériel
P-2	 Chemin de fer : Les mesures nécessaires contre les influences réciproques indues entre les systèmes de mise à la terre au sens de l'art. 8 OLEI et de l'art. DE 44.d de la DE-OCF doivent faire l'objet d'une concertation entre les exploitants des infrastructures de la ligne électrique et de ligne ferroviaire concernée. Pour les installations ferroviaires, les directives de mise à la terre de la DE-OCF s'appliquent. 	Protection des per- sonnes et du maté- riel

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Un concept de mise à la terre coordonné et spécifique au projet doit démontrer et justifier que

- a) la disponibilité et la sécurité de toutes les installations électriques sont garanties à tout moment et en toute situation de fonctionnement ou de défaut, et que la compatibilité électromagnétique est conforme aux prescriptions légales applicables (voir bibliographie);
- b) les directives de mise à la terre des installations électriques sont respectées conformément à l'ordonnance sur les installations à courant fort.



5.2.2 Exigences pour les batteries de tubes situées dans un tunnel (agencements A et B)

Position et agencement des câbles

En général, pour tous les agencements : Le tracé du câble doit être disposé de telle manière que, dans tous les lieux de séjour momentané (LSM), la valeur limite d'immissions de 100 μT fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique soit respectée (voir chapitre 4.6).

Agencement A, route, installation de câblage à plat sous la chaussée: La batterie de tubes doit être positionnée suffisamment profond pour ne pas gêner une future réfection de la chaussée (pour la structure des couches, voir manuel technique OFROU 24001, fiche technique 24 001-10401 Enrobé).

Agencement B, chemin de fer, installation de câblage dans l'accotement :

Une pose dans un bloc de tubes en béton est autorisée pour permettre la disposition parallèle de lignes câblées haute tension et d'autres lignes câblées (voir commentaires de l'ESTI à propos de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) du 30.03.1994, STI n° 240.1199).

En vertu de l'art. 67 al. 2 de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI), les câbles à haute tension doivent si possible être posés séparément des câbles à basse tension, ainsi que des câbles de commande et à courant faible, c'est-à-dire dans des batteries de tubes distinctes. Conformément à l'art. 24 de l'Ordonnance sur les installations à courant fort, les lignes de transmission de signaux et d'informations de protection des personnes et des installations doivent être posées de manière à ne pas subir d'influence indue ou de dégâts en cas de court-circuit ou de défaut de terre dans la ligne de transport d'électricité.

En vertu de l'art. 99 al. 4 de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI), les lignes électriques enfouies ne servant pas à l'exploitation ferroviaire doivent présenter un écart minimum de 1,3 m par rapport au rail extérieur. Des exceptions sont possibles si les conditions de l'alinéa 6 sont vérifiées (pas d'influences réciproques à craindre).

Pour l'agencement de regroupement avec une voie ferrée, les prescriptions et dispositions des DE-OCF doivent être respectées, notamment :

- la DE 44.b Distribution du courant de traction et câbles,
- la DE 44.d Retour du courant de traction et mise à la terre, en particulier le chiffre 2 : Principe relatif aux tensions de contact dangereuses.



Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Le respect de la valeur limite d'immissions de 100 µT fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit être démontré pour les usagers des transports. Et ce, également pour les emplacements accessibles par le personnel exploitant de l'infrastructure de support (voies piétonnières).

Évacuation de la chaleur

L'évacuation nécessaire de la chaleur dissipée par les câbles doit être assurée par un lit de pose approprié ou, si nécessaire, par des conduites de refroidissement.

Tableau 13: Mesures possibles pour assurer l'évacuation de la chaleur

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Béton à bonne conductivité thermique (min. 1 W/K*m, avec du béton spécial jusqu'à 4 W/K*m possible) 	Électricité
S-2	 Intégration de conduites de refroidissement dans la batterie de tubes pour garantir la capacité de transport de courant nécessaire. 	Électricité

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Swissgrid est responsable de démontrer que l'agencement satisfait aux exigences du système de câblage (capacité de charge en courant).

Logistique des câbles

Agencement A: Route: Pour la livraison des bobines de câble, un accès durable et suffisant aux emplacements de tirage des câbles (élargissements d'arrêt) doit être garanti. Il convient notamment de veiller à leur compatibilité avec des véhicules spéciaux et des charges exceptionnelles, voir Figure 10. La capacité de charge du sol doit être adaptée à la masse totale ou à la charge par essieu du véhicule spécial chargé. Le déchargement et l'alignement de la bobine de câble seront difficiles à l'intérieur du tunnel.

Les aspects suivants doivent être coordonnés à un stade précoce de la planification :

- longueur de câble et contraintes liées aux dimensions et au poids du matériel transporté, voir chapitre 4.1.5;
- intervalles entre les aires d'arrêt d'urgence (et leur répartition) où se situent les chambres de tirage des câbles;
- dimensions des aires d'arrêt d'urgence avec l'agencement et l'orientation des chambres de tirage de câbles en fonction des véhicules spéciaux possibles.

Afin de prévoir suffisamment d'espace, il est important de tenir compte des dimensions des véhicules, de la bobine de câble qui se déroule perpendiculairement au sens de circulation pour les longueurs > 560 m et des rayons de courbure de 3,5 m minimum à respecter lors de la pose du câble. Les chambres de tirage de câbles ne peuvent pas être déplacées et doivent être positionnées à distance appropriée du lieu de stationnement de la bobine. La largeur du convoi, mais aussi sa hauteur peu-



vent dépasser les exigences habituelles des aires d'arrêt d'urgence³⁰. C'est pourquoi, il est recommandé de définir les exigences d'une pose de câble extraordinaire³¹ grâce à une analyse coût-utilité : si le tirage du câble doit impérativement se faire sans perturbation du trafic, des travaux constructifs supplémentaires peuvent être nécessaires; si une fermeture du tunnel est tolérable, la chaussée pourrait être utilisée pour réaliser le tirage de câble. Si elle peut être planifiée, la pose du câble peut aussi être coordonnée avec des fermetures d'entretien prévues.





Figure 10 : Pose de câbles à partir d'un véhicule de transport ou d'une bobine déchargée (source : société Wassermann Kabeltechnik).

<u>Chemin de fer / Électricité :</u> Les longueurs de câble, l'agencement des raccords à manchon et les possibilités de pose doivent être définies en fonction des contraintes, conformément au chapitre 4.1.2.







Figure 11 : Pose de câbles à partir d'un véhicule ferroviaire avec axe de la bobine perpendiculaire au sens de circulation (source : OFT, Nexans)

Norme SIA 197/2 et fiche technique OFROU 24 001-10704 Élargissements d'arrêt, V2.03 du 01.01.2015 : hauteur du gabarit = 4,5 m, largeur du gabarit = 3,20 m, longueur totale de l'élargissement d'arrêt = 41 m

p. ex. en cas de nécessité de remplacer un câble avant le terme de sa durée de vie technique



Tableau 14: Mesures possibles relatives à la logistique des câbles

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Agencer si possible les chambres de tirage de câbles et les tubes de tirage dans le sens de déroulement de la bobine de câble. 	Électricité

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

L'accès et l'espace requis par la logistique des câbles doivent être déterminés spécifiquement pour chaque projet en tenant compte du rapport coûts-avantages.

Conformité statique pour le véhicule de transport exceptionnel chargé de la bobine de câble (en particulier en cas d'excavation avec des galeries techniques sous la chaussée / l'élargissement d'arrêt).

Agencement des raccords à manchon – Protection du tunnel contre les incidents

Pour l'agencement A, variante Route/électricité non séparés, et pour l'agencement B, chemin de fer, les raccords à manchons se situent dans l'espace de circulation.

Agencement A, route, installation de câblage à plat sous la chaussée : Les raccords à manchons doivent être placés dans des chambres de jonction situées dans les aires d'arrêt d'urgence. Les chambres de jonction et niches de tunnel doivent être sécurisées de façon à circonscrire les effets en cas d'incident.

Agencement B, chemin de fer, installation de câblage dans l'accotement: Les raccords à manchons doivent être placés dans des niches latérales du tunnel. Si possible, ils doivent être placés de façon à ce qu'en cas d'incident au niveau du manchon (incendie / explosion), celui-ci entraîne un minimum de dégâts sur l'infrastructure de support et ses installations électriques, et n'affecte pas les usagers des transports. Les niches de tunnel doivent être sécurisées de façon à circonscrire les effets en cas d'incident.

Tableau 15: Mesures possibles pour les raccords à manchons

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Séparation constructive des chambres/niches de jonction et de l'espace de circulation par une paroi en béton ou en maçonnerie. 	Securite
S-2	 Chambres de jonction dotées de couvercles sécurisés à remplissage de sable. 	Sécurité

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Les mesures constructives visant à respecter les objectifs de sécurité des installations et des personnes doivent être déterminées spécifiquement pour chaque projet en tenant compte du rapport coûts-avantages.

Protection des lignes électriques contre les dommages



Agencement B, chemin de fer, installation de câblage dans l'accotement: Les accotements font déjà office de rebord de guidage et doivent être dimensionnés en conséquence. Pour réduire encore davantage le risque, les lignes câblées doivent être posées de façon à être exposées le moins possible en cas de choc dû à un déraillement ou à ses conséquences (cisaillement éventuel de l'accotement) ou doivent faire l'objet de mesures de protection spéciales

Tableau 16 : Mesures possibles pour protéger les lignes électriques

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Positionner l'installation de câblage en partie inférieure de l'accotement 	Sécurité
S-2	 Recouvrir les tuyaux de protection des câbles d'au moins 10 cm de béton³² 	Sécurité
S-3	 Effectuer la pose dans des tubes vides résistants, p. ex. en acier, en aluminium ou en matière plastique renforcée 	Sécurité
S-4	 Renforcer l'accotement contre les chocs à l'aide d'une armature ou de plaques de protection. À cet égard, il faut veiller à ce que l'armature entourant les lignes électriques ne forme pas un anneau fermé susceptible de provoquer un court-circuit magnétique (voir norme SIA 197/1, chiffre 8.5.3.4) 	Sécurité
S-5	 Intégrer des garde-fous empêchant les véhicules ferroviaires de dévier des voies en cas de déraillement (uniquement adapté aux vi- tesses réduites et moyennes, voire DE-OCF de la DE 26.2). D'autres mesures sont à privilégier. 	Sécurité

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Dimensionnement des accotements en fonction des forces de choc exceptionnelles Q_{dy} d'après les DE-OCF, annexe n° 1. Les autres mesures de protection contre les chocs doivent être déterminées spécifiquement pour chaque projet en tenant compte du rapport coûts-avantages.

5.2.3 Exigences pour les galeries techniques et de sécurité (agencements A et B)

Voies d'accès et d'évacuation, longueur des chemins de fuite

Les exigences ci-après en matière de sécurité du travail se basent sur les considérations du chapitre 4.7.

Voir aussi Réglementation I-AT-FS 3003.05, Protection des câbles - Projet et construction, CFF



Pour les tunnels routiers, l'état actuel de la technique est spécifié dans la norme SIA 197/2. En vertu de cette dernière, dans les tunnels à un seul tube, les accès aux galeries techniques doivent se situer au niveau des aires d'arrêt d'urgence, qui sont généralement espacés de 600 à 900 m. Dans les tunnels à double tube, les accès sont possibles au niveau des liaisons transversales carrossables, en s'assurant qu'une liaison transversale sur trois est bien carrossable. Ceci conduit à un intervalle de 900 m entre les accès.

Il ne faut pas oublier que les galeries techniques et de sécurité ne représentent pas seulement une zone à risque mais peuvent aussi contribuer à la sécurité des usagers des transports en servant de chemin de fuite. Dans ce cas, des sorties de l'espace de circulation sont prévues tous les 300 à 500 m et peuvent également servir de chemin de fuite depuis une galerie technique ou de sécurité vers l'espace de circulation.

Les aspects de sécurité du travail doivent être examinés et planifiés en temps utile et de façon globale. L'ensemble des mesures structurelles, matérielles et organisationnelles doit être vérifié.

Tableau 17 : Mesures possibles pour garantir la sécurité du travail

Dés.	Me	sures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	_	Mise en place d'accès et de départs de chemin de fuite selon l'état de la technique	Sécurité du tra- vail
S-2	_	Examen et création d'accès et de départs de chemin de fuite sup- plémentaires en fonction de leur rapport coût/efficacité.	Sécurité du tra- vail
S-3	_	Subdivision en compartiments coupe-feu (dans la mesure où cela est compatible avec les autres exigences).	Sécurité du tra- vail

Dés.	Mesures matérielles (matériel)	Aspect
M-1	Mise en place d'équipements de sécurité dans les galeries - Système radio - Caméras de surveillance - Déclenchement d'alarme - Matériel de secours en cas d'accident électrique - Extincteur portatif - Postes d'extinction d'incendie	Sécurité du tra- vail
M-2	 Inspection avec équipement de protection Appareils de mesure (O₂, CO, méthane, etc.) Dispositif d'autosauvetage (appareil respiratoire) Vêtements de protection résistant aux arcs électriques 	Sécurité du tra- vail



Dés.	Mesures organisationnelles	Aspect
0-1	Inspections : - Pas d'inspection par une personne seule - Inspections effectuées par le personnel exploitant - Informer de l'accès en cas d'inspection d'une galerie / se signaler à la sortie	Sécurité du tra- vail

Dés.	Mesures procédurales	Aspect
P-1	 Identification des dangers et planification de mesures concernant les risques d'accidents et les risques pour la santé selon leur efficacité et leur coût, p. ex. d'après [13] et [14] 	Sécurité du tra- vail
P-2	 Élaboration d'un concept d'exploitation et de sauvetage pour les galeries techniques / de sécurité 	Sécurité du tra- vail
P-3	Élaboration d'un concept de protection incendie	Sécurité gén.

Séparation structurelle des galeries techniques

L'espace disponible dans une galerie technique est limité (voir fiche technique OFROU 24 001-10404). Selon les exigences système de Swissgrid, l'installation de câblage en monopolise une grande partie pour la ligne de transport d'électricité. De plus, la ligne électrique et les autres conduites du tunnel s'exposent mutuellement à un risque potentiel d'incendie et d'inondation. Ce dernier cas se présente notamment si la galerie technique accueille également une conduite d'eau d'extinction. Le personnel exploitant qui effectue des travaux d'entretien et de maintenance sur les installations du tunnel est exposé aux dangers latents de l'installation de câblage (tensions de contact). Pour toutes les raisons exposées ci-dessus, du point de vue des auteurs de l'étude, une séparation structurelle de l'installation de câblage et des installations de l'exploitant de l'infrastructure de support est indispensable. La séparation structurelle des galeries techniques en deux gaines distinctes a d'ores et déjà été mise en pratique, par exemple dans le tunnel du San Bernardino ou dans le second tube du tunnel routier du Saint-Gothard, où une galerie technique séparée est prévue pour le système de câbles de la ligne de transport d'électricité. La séparation structurelle n'entraîne toutefois pas nécessairement une réduction des immissions de RNI. Les règles d'écart doivent par conséquent être respectées.



Tableau 18: Mesures possibles pour l'agencement dans la galerie technique

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Pose de l'installation de câblage (ligne de transport d'électricité) dans une seconde galerie technique parallèle, disposant de son propre compartiment coupe-feu. L'installation de câblage gagne en espace utile. Le système de ventilation doit lui aussi être conçu séparément pour les deux galeries techniques. 	Sécurité du tra- vail Capacité de transport de cou- rant

Gabarit des galeries techniques pour une installation de câblage posée de manière ouverte

Le gabarit doit être déterminé en fonction de l'aménagement prévu à long terme pour l'installation de câblage. Les écarts verticaux et horizontaux requis entre les câbles pour l'exploitation doivent être respectés. Swissgrid fournit les exigences système correspondantes (nombre de câbles, câbles de réserve, courant continu maximum, etc.).

Le personnel exploitant devrait pouvoir procéder aux inspections, contrôles et travaux de vérification, tels que les contrôles visuels, les relevés de terrain et de température, les contrôles de corrosion, etc., sans nécessiter une mise hors service de l'installation de câblage.

Dans le cas où seul le personnel exploitant et des personnes mandatées par le gestionnaire national du réseau ont accès à la galerie technique/de câbles, la largeur et la hauteur de passage doivent être dimensionnées en fonction des points suivants :

- Gabarit adapté au personnel d'exploitation et d'entretien (év. place nécessaire pour une voie monorail/suspendue)
- (2) Espace utile pour les éléments techniques de câblage (pose des câbles de manière ouverte ou dans des conduits vides, raccords à manchons)
- (3) Distance de sécurité supplémentaire pour <u>respecter la valeur limite sur le lieu de travail définie</u> <u>par la Suva pour la densité de flux magnétique</u>

Les installations de câblage des galeries techniques doivent en outre être conçues de façon à permettre le respect de la valeur limite d'immissions de l'ORNI dans l'espace de circulation situé audessus.

Des idées d'agencement possible des câbles dans une galerie technique/de câbles et des repères de dimension sont fournis à titre d'information dans les annexes 3 et 4.



Tableau 19 : Mesures possibles pour respecter la valeur limite sur le lieu de travail définie par la Suva pour la densité de flux magnétique

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect		
S-1	Baliser les zones de passage et les chemins de fuite au sol	Sécurité vail	du	tra-
S-2	 Séparer structurellement les zones où le champ magnétique est > 500 μT (cage de protection autour des câbles, etc.) 	Sécurité vail	du	tra-
S-3	 Fixer la hauteur des galeries techniques et de sécurité de façon à pouvoir poser les câbles au plafond ou sous le sol au niveau des dé- parts latéraux de chemin de fuite, en respectant une distance de sé- curité suffisante en matière de RNI. 	Sécurité vail	du	tra-
S-3	 Réduction ou compensation de champ magnétique : Géométrie des conducteurs : réduction du champ magnétique par agencement triangulaire ou avec de faibles écarts entre conducteurs en cas d'agencement sur un niveau Optimisation de phase : réduction du champ magnétique par déphasage réciproque des conducteurs de phase dans un système double Blindage actif par disposition d'un conducteur de compensation parallèlement à chaque câble 380 kV, injection de courants de compensation à commande électronique. 	Sécurité vail	du	tra-
S-4	 Blindage passif de champ magnétique : gainage des câbles ou bat- teries de tubes au niveau des départs de chemin de fuite lorsque la hauteur de la galerie est limitée pour des raisons techniques. 	Sécurité vail	du	tra-
Dés.	Mesures matérielles (matériel)	Aspect		
M-1	 Signalisation d'interdiction de séjour stricte dans la zone > 500 μT 	Sécurité vail	du	tra-
Dés.	Mesures organisationnelles	Aspect		
0-1	 Désactivation partielle ou totale du système de lignes au moment de l'inspection. 	Sécurité vail	du	tra-



Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

La distance de sécurité doit être définie en déterminant spécifiquement pour chaque projet les champs magnétiques du mode d'exploitation de l'installation pour lequel les immissions sont les plus élevées.

Le respect de la valeur limite de $500 \, \mu T$ de la Suva pour la densité de flux magnétique doit être justifié dans les endroits auxquels seul le personnel d'exploitation du gestionnaire national du réseau a accès.

Au niveau des départs latéraux de chemin de fuite, le tracé de lignes électriques doit être défini dans le cadre du projet concret.

Gabarit des galeries techniques/de sécurité avec fonction d'autosauvetage en présence de câbles posés de manière ouverte

Dans une galerie de sécurité ou une galerie technique répondant au principe de l'autosauvetage, les dispositifs de sécurité doivent satisfaire aux exigences de la norme SIA 197/2 et aux précisions du manuel technique Tunnel/Géotechnique (OFROU 24001). Même si le chemin de fuite n'est pas considéré comme un lieu de séjour momentané (LSM) selon l'ORNI, la valeur limite d'immissions la plus stricte fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit être respectée. L'élément déterminant à cet égard est le personnel exploitant de l'infrastructure de support, qui doit également accéder au couloir pour effectuer des inspections et des travaux d'entretien (voir chapitres 4.6 et 4.7). Il convient de tenir compte du fait que les systèmes de câbles doivent rester en fonction durant les inspections.

En raison des liaisons transversales ou des sorties qui débouchent dans le tunnel à intervalle régulier de 300 à 500 m, la pose de conduites, c'est-à-dire aussi d'installations de câblage d'une ligne de transport d'électricité, est uniquement possible du côté opposé à ces accès. Ceci s'applique tout particulièrement aux galeries techniques limitées en hauteur et dans lesquelles il n'est pas possible de déplacer les câbles au plafond ou dans le sol.

Dans le cas d'un système implanté d'un seul côté (câbles superposés), le dimensionnement de la largeur et de la hauteur de passage d'une galerie technique/de sécurité doit se baser sur les points suivants :

- (1) Gabarit du chemin de fuite des usagers du tunnel en cas d'incident ;
- (2) Espace utile pour les éléments techniques de câblage (pose des câbles de manière ouverte ou dans des tubes vides, raccords à manchons)
- (3) Distance de sécurité supplémentaire pour <u>respecter la valeur limite d'immissions de 100 μT</u> pour la densité de flux magnétique.

Des idées d'agencement possible des câbles dans une galerie technique/de câbles et des repères de dimension sont fournis à titre d'information dans les annexes 3 et 4.

Les mesures applicables sont les mêmes que dans le



Tableau 19. Elles doivent toutefois couvrir la zone de champ magnétique > 100 µT car, dans cette situation, il s'agit d'assurer la protection contre les immissions des personnes ne faisant pas partie du personnel exploitant du gestionnaire national du réseau.

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Le respect de la valeur limite d'immissions de 100 µT, fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique, doit être démontré pour tous les endroits accessibles au personnel exploitant de l'infrastructure de support.

Position et agencement des câbles dans les galeries de sécurité en cas de pose dans le radier

Dans une galerie de sécurité répondant au principe de l'autosauvetage, une alternative consiste à poser les câbles dans le radier de la galerie afin d'éviter les embouchures des liaisons transversales ou des sorties. La profondeur d'enfouissement doit être fixée de façon à pouvoir respecter la valeur limite d'immissions de 100 µT, fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique. L'élément déterminant à cet égard est le personnel exploitant de l'infrastructure de support, qui doit également emprunter la galerie pour effectuer des inspections et des travaux d'entretien (voir chapitres 4.6 et 4.7). Si cela ne peut pas être garanti, une compensation de champ ou un blindage du côté des émissions doivent être envisagés. Les raccords à manchons doivent être placés soit dans des chambres de jonction, soit sur le mur en cas de pose ouverte (voir exigences plus bas).

Les mesures applicables sont les mêmes que pour une batterie de tubes dans un tunnel.

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Le respect de la valeur limite d'immissions de 100 µT, fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique, doit être justifié pour tous les endroits accessibles au personnel exploitant de l'infrastructure de support.

Ventilation

Dans les cas suivants, la galerie technique nécessite une ventilation – naturelle et/ou mécanique – indépendante de l'espace de circulation :

- a. Légère surpression contre l'intrusion de gaz/poussière afin d'éviter toute contamination (dans le cas d'une galerie technique sans exigences d'étanchéité).
- b. Ventilation permanente ou purge avant inspection, pour générer un climat de travail (température) acceptable pour la santé (voir chapitre 4.7, qualité de l'air ambiant).
- c. Évacuation de la chaleur pour garantir la capacité de transport de courant.
- d. En cas de fonction simultanée de galerie de sécurité : garantie d'absence de fumée et de substances nocives en cas d'incident (augmentation de la surpression).

Conformément aux commentaires sur les OLT 3 et 4, l'air ambiant est de bonne qualité si la concentration totale de CO₂ ne dépasse pas 1000 ppm.



L'installation de ventilation doit être configurée de façon à satisfaire aux exigences maximales. En charge de fonctionnement normal, l'évacuation de la chaleur s'effectue si possible par convection naturelle.

Les exigences structurelles (p. ex. besoin de place pour des armoires de commande) et les interfaces techniques avec le système de ventilation de l'espace de circulation doivent être clarifiées et définies dès le stade de la conception.

Tableau 20 : Mesures possibles pour la ventilation des galeries techniques et de sécurité

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Conception de la ventilation mécanique (valeurs indicatives): a. Vitesse minimum de circulation de l'air de 0,2 à 0,3 m/s d'après l'expérience en construction souterraine b. Durée de purge avant inspection = exigences d'utilisation, p. ex. renouvellement de l'air dans un tronçon de ventilation en x heures c. Min. 1,5 à 2 m/s pour l'évacuation de la chaleur dissipée [6] d. Galerie de sécurité : surpression en mode de fonctionnement normal min. 50 Pa ; en cas d'incident, vitesse d'écoulement au niveau des portes ouvertes de 1 m/s selon la directive OFROU 13002 	Sécurité du tra- vail Exploitation
S-2	 Agencement constructif optimal pour assurer une ventilation naturelle Stimulation des courants ascendants et descendants par la différence de hauteur Stimulation des flux naturels par de faibles pertes de pression 	Sécurité du tra-

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

La préservation d'un climat de travail acceptable pour la santé doit être démontrée pour la galerie technique prévue dans le projet.

La justification que l'agencement satisfait aux exigences système de l'installation de câblage (capacité de transport de courant) relève de Swissgrid.

Compartiments coupe-feu

En vertu de l'état actuel de la technique, les galeries techniques d'un tunnel ne sont pas divisées en compartiments coupe-feu. D'après la norme SIA 197/2, elles doivent être conçues de façon à être accessibles conformément aux exigences d'exploitation. Dans le cas d'une galerie technique destinée à accueillir des installations de câblage, il faut en outre assurer l'évacuation de la chaleur dissipée par l'installation. Pour une ventilation naturelle optimale, les pertes de pression, c'est-à-dire la résistance



de l'air, devraient être aussi faibles que possible. L'intégration de cloisons pare-feu est défavorable à cet égard, même si les passages (portes) restent ouverts en mode de fonctionnement normal.

À l'inverse, une galerie ou un tunnel dans lequel sont posées des lignes câblées doit être subdivisé en compartiments coupe-feu appropriés, conformément à l'art. 70 al. 5 de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI). Si aucun compartimentage coupe-feu n'est prévu, il conviendra de justifier, dans le cadre de la procédure d'approbation des plans, que celui-ci n'est pas nécessaire.

Tableau 21 : Mesures possibles (en fonction de la longueur des chemins de fuite dans les galeries techniques et de sécurité)

Dés.	Mesures procédurales	Aspect
P-1	 Identification des dangers et planification de mesures concernant les risques d'accidents et les risques pour la santé selon leur efficacité et leur coût, p. ex. d'après [13] et [14] 	Sécurité du tra- vail
P-2	 Élaboration d'un concept d'exploitation et de sauvetage pour les galeries techniques / de sécurité 	Sécurité du tra- vail
P-3	Élaboration d'un concept de protection incendie	Sécurité gén.

Agencement des raccords à manchons - Protection du tunnel contre les incidents

Les raccords à manchons doivent en principe être placés de façon à ce qu'en cas d'incident au niveau du manchon (incendie / explosion), celui-ci entraîne un minimum de dégâts sur l'infrastructure de support et ses installations électriques.

Dans une galerie technique uniquement accessible par le personnel exploitant autorisé du gestionnaire national du réseau et ne comportant aucune autre installation, les raccords à manchons peuvent rester sans revêtement.

Dans une galerie combinant les fonctions de galerie de câbles et de sécurité (agencement D), les raccords à manchons doivent être logés dans des chambres de jonction (s'ils se trouvent dans une batterie de tubes intégrée au radier) ou des niches du tunnel (si les câbles sont fixés au mur). Les raccords à manchons doivent être protégés vers la zone accessible. Dans une galerie de sécurité carrossable, ils doivent être protégés contre les chocs.

La galerie technique doit être dimensionnée de façon à permettre, le cas échéant, l'intégration de raccords à manchons supplémentaires visant à réparer les dommages subis par les câbles (voir aussi gabarit) ainsi qu'une exécution sans risque des travaux de remise en état (respect de la distance de sécurité par rapport à un câble en exploitation, pas de risque de dégâts).



Tableau 22: Mesures possibles pour les raccords à manchons

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)		Aspect	
S-1	-	Prévoir des élargissements pouvant servir de niche de jonction, afin de disposer de suffisamment d'espace pour les raccords à manchons et pour la mise en place de matériel de remplacement.	Technique construction	de
S-2	_	Protection contre les chocs / glissières devant les raccords à manchons.	Sécurité	
S-3	_	Séparation constructive des chambres/niches de jonction et de l'espace de circulation par une paroi en béton ou en maçonnerie.	Sécurité	
S-4	_	Chambres de jonction dotées de couvercles sécurisés à remplissage de sable.	Sécurité	

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Les mesures constructives visant à respecter les objectifs de sécurité des installations et des personnes doivent être déterminées spécifiquement pour chaque projet en tenant compte du rapport coûts-avantages.

Protection des lignes électriques contre les dommages

Agencement A, route, installation de câblage dans une galerie technique ou agencement D: Dans une galerie technique carrossable, il convient de prévoir un système de retenue pour les véhicules, garantissant en même temps la distance de sécurité permettant de respecter la valeur limite d'immissions fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique.

Logistique des câbles

Agencement A - route ou agencement D: Pour la livraison des bobines de câble, un accès durable et suffisant aux portails de la galerie technique ou de sécurité doit être garanti. Il convient notamment de veiller à ce qu'il soit compatible avec le passage de véhicules spéciaux et de charges exceptionnelles, voir Figure 7 dans le chapitre 4.1.5.

Afin de prévoir suffisamment d'espace, il est important de tenir compte des dimensions des véhicules, de la bobine de câble qui se déroule perpendiculairement au sens de circulation pour les longueurs > 560 m et des rayons de courbure de 3,5 m minimum à respecter lors de la pose du câble. Les chambres de tirage de câbles ne peuvent pas être déplacées et doivent être positionnées à distance appropriée du lieu de stationnement de la bobine. Pour contourner les centrales des portails, des tubes de tirage de câbles doivent être prévus si nécessaire.

La pose de câbles dans une galerie technique ou de sécurité nécessite une logistique minutieuse (procédé, machines et équipements), adaptée aux forces de traction des câbles admissibles.



En cas de tirage des câbles depuis l'espace de circulation, des chambres et des gaines de tirage de câbles doivent être aménagées jusqu'à la galerie technique/de sécurité dans les élargissements d'arrêt (exigences, voir 5.2.2, Logistique des câbles).

Tableau 23 : Mesures possibles relatives à la logistique des câbles

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Tubes fixes Ø 250 mm posés à ciel ouvert pour l'acheminement des câbles via une gaine/galerie 	Logistique
S-2	 Chambres de tirage de câbles et tubes de tirage dans des aires d'arrêt d'urgence 	Logistique

Dés.	Mesures matérielles (matériel)	Aspect
M-1	Tirage de câble sur roulements à rouleaux	Logistique
M-2	 Tubes temporaires Ø 250 mm posés à ciel ouvert pour l'acheminement des câbles via une gaine/galerie 	Logistique

5.2.4 Exigences pour les batteries de tubes situées sous / à côté de la voie de circulation (agencements E et F)

Position et agencement des câbles

En général, pour les deux agencements : Le tracé du câble doit être suffisamment profond pour respecter la valeur limite d'immissions de 100 µT fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique pour les usagers des transports ainsi que pour le personnel exploitant de l'infrastructure de support (voir chapitre 4.6).

Agencement E, route, installation de câblage sous la chaussée: D'après le manuel technique OFROU 23001, fiche technique 23001-14204 Position de la batterie, une batteries de tubes pour lignes de transport d'électricité doit être positionné suffisamment profond pour ne pas gêner une future réfection de la chaussée.

Dans cette batterie de tubes, il convient de prévoir si possible des tubes vides supplémentaires en guise de réserve et pour pouvoir tirer des câbles de remplacement sans travaux d'excavation en cas de défaillance d'un câble.

Agencement F, route, installation de câblage entre une glissière de sécurité et une clôture pour gibier : Conformément aux exigences de l'OFROU, cet agencement doit également satisfaire aux critères mentionnés ci-dessus pour la position de la batterie de tubes, afin de ne pas interférer avec une future extension de la route, p. ex. à six voies.

Agencement F, chemin de fer, entre des pylônes de caténaires et des parois antibruit :



Conformément à l'art 99 al. 4 de l'OLEI, les lignes câblées enfouies qui ne servent pas à l'exploitation ferroviaire doivent être posées en dehors du domaine des voies et des supports de ligne servant à l'alimentation électrique de l'installation de traction, et présenter un écart minimum de 1,3 m par rapport au rail extérieur. Des exceptions sont possibles si les conditions de l'alinéa 6 sont vérifiées (pas d'influences réciproques à craindre, accord de l'exploitant de l'infrastructure ferroviaire).

Conformément à l'OLEI, les câbles à haute tension doivent si possible être posés séparément des câbles à basse tension, ainsi que des câbles de commande et à courant faible (dans des batteries de tubes distinctes).

Dans le cas d'infrastructures existantes, le tracé de câbles ne doit pas se situer dans le périmètre d'une ligne d'intérêt des CFF, afin d'en permettre de futures extensions (p. ex. dans la perspective d'une extension à deux voies).

Tableau 24 : Mesures possibles pour l'équipement des batteries de tubes

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect	
S-1	En cas d'assainissement global d'une autoroute, investir dans des batteries de tubes en prévision de futures lignes de transport d'électricité (agencements E/F). Tubes de protection de câbles de Ø = 250 mm, nombre de tubes selon besoins de Swissgrid et place disponible, min. 2 x 3 tubes	Technique construction	de

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Le respect de la valeur limite d'immissions de 100 µT fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit être justifié pour les usagers des transports. Il en va de même pour les emplacements accessibles par le personnel exploitant de l'infrastructure de support.

Les mesures de protection contre les chocs doivent être définies spécifiquement à chaque projet, dans la mesure où des éléments de l'installation dépassent à la surface du sol (p. ex. les accès aux chambres de jonction).

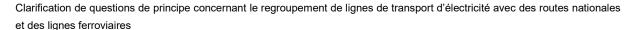
Mise à la terre des batteries de tubes

Les applications de câbles des routes nationales sont en principe soumises aux dispositions du manuel technique OFROU 23001 EES, notamment :

- la fiche technique 23001-11710 Mise à terre et protection contre la foudre,
- la fiche technique 23001-11711 Mise à terre à ciel ouvert,
- la fiche technique 23001-14200 Batterie de tubes.

Pour les applications de câbles des chemins de fer, les prescriptions et dispositions des DE-OCF doivent en principe être respectées, notamment :

- la DE 44.b Distribution du courant de traction et câbles,
- la DE 44.d Retour du courant de traction et mise à la terre, en particulier le chiffre 2 : Principe relatif aux tensions de contact dangereuses.





Lors du regroupement de lignes de transport d'électricité avec des infrastructures de support, les exigences du chapitre 5.2.1 Mise à la terre et compensation de potentiel doivent être respectées.

Protection des lignes électriques contre les dommages

Agencement F, route et chemin de fer :

L'agencement d'installations de câblage est fondamentalement à éviter dans les pentes instables.

En cas de risque d'affaissement, les câbles doivent être posés avec du « mou » afin de leur permettre d'absorber les éventuelles variations de longueur de l'ouvrage.

Agencement des raccords à manchons

Agencement E / F, route: Dans la mesure du possible, l'accès à l'emplacement des manchons doit être prévu via un chemin rural ou une route d'entretien situés en dehors du périmètre de la route nationale. Dans les cas où cela est impossible, l'accès via la route nationale doit être étudié spécifiquement au projet avec l'OFROU.

Dans les cas où il est inévitable de positionner des chambres de jonction dans la chaussée ou la bande d'arrêt d'urgence, les chambres doivent être fixées conformément aux exigences de l'OFROU.

Agencement F, chemin de fer : Dans la mesure du possible, l'accès à l'emplacement des manchons doit être prévu via une route d'entretien située en dehors du périmètre dédié au transport ferroviaire ou – pour les nouveaux tronçons – via un chemin rural ou d'intervention parallèle.

Logistique des câbles

<u>Agencement E / F, route :</u> Pour la livraison des bobines de câble, un accès durable et suffisant aux emplacements de tirage des câbles doit être garanti. Il convient notamment de veiller à ce qu'il soit compatible avec le passage de véhicules spéciaux et de charges exceptionnelles, voir Figure 7 dans le chapitre 4.1.5.

Dans les cas où la pose de câbles doit être effectuée à partir des baies d'arrêt d'urgence d'une route nationale, la longueur des câbles et l'intervalle entre les baies d'arrêt d'urgence doivent être coordonnés suffisamment tôt dans le cadre de la planification.

Afin de prévoir suffisamment d'espace, il est important de tenir compte des dimensions des véhicules, de la bobine de câble chargée transversalement pour les longueurs > 560 m et des rayons de courbure de 3,5 m minimum à respecter lors de la pose du câble. Les chambres de tirage de câbles ne peuvent pas être déplacées et doivent être positionnées à distance appropriée du lieu de stationnement de la bobine. La largeur du convoi peut dépasser les exigences habituelles des aires d'arrêt d'urgence³³. C'est pourquoi, il est recommandé de définir les exigences d'une pose de câble extraordinaire grâce à une analyse coût-utilité : si le tirage du câble doit impérativement se faire sans perturbation du trafic, des travaux constructifs supplémentaires peuvent être nécessaires ; si une fermeture

Directive OFROU 11001 Profils types: largeur de passage = 4,25 m, longueur totale de la baie d'arrêt d'urgence = 45 m



du tunnel est tolérable, la chaussée pourrait être utilisée pour réaliser le tirage de câble. Si elle peut être planifiée, la pose du câble peut aussi être associée à des fermetures d'entretien prévues.

Lorsque la pose des câbles doit être effectuée via une route d'entretien située en dehors du périmètre de la route nationale, la longueur des câbles doit être adaptée au terrain, aux constructions et aux possibilités d'accès.

<u>Agencement F, chemin de fer :</u> La longueur des câbles doit être adaptée au terrain, aux constructions et aux possibilités d'accès. La livraison des bobines de câbles est soumise aux mêmes exigences que l'agencement F, route.

5.2.5 Exigences pour les ponts (agencement G)

Position et agencement des câbles sur un pont

Agencement G, route et chemin de fer : L'écart entre les câbles et l'espace de circulation doit être dimensionné de telle façon que la valeur limite d'immissions de 100 µT pour la densité de flux magnétique soit respectée pour les usagers des transports (voir chapitre 4.6). En présence d'une passerelle d'inspection, les câbles doivent être agencés de manière à ne pas devoir mettre l'installation de câblage hors service pour les contrôles visuels effectués par le personnel exploitant du gestionnaire national du réseau.

Les câbles doivent être posés avec du « mou » afin de leur permettre d'absorber les éventuelles variations de longueur de l'ouvrage. Les aménagements d'entrée (dans des ponts ou des bâtiments) doivent être en mesure d'absorber des déplacements différentiels de l'ordre de quelques centimètres. L'agencement et l'utilisation de l'installation de câblage doivent être coordonnés avec l'exploitant de l'infrastructure de support et, le cas échéant, d'autres usagers (eau, évacuation, fournisseur d'électricité local). Il convient également d'assurer l'accès pour le personnel d'exploitation.

Mise à la terre des câbles

La compatibilité électromagnétique et la mise à la terre doivent être vérifiées conformément au chapitre 5.2.1.

Accès

L'installation de câblage logée dans des tubes de protection des câbles doit rester accessible pour les travaux d'entretien (contrôles visuels, contrôles de corrosion, etc.). Concernant la pose de câbles et les travaux d'entretien (remplacement de câbles), voir « Logistique des câbles ».

Tableau 25: Mesures possibles pour l'accès

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Passerelle d'inspection, selon le type d'agencement (p. ex. dans un caisson creux entre les poutres d'un pont). 	Logistique



Dés.	Mesures matérielles (matériel)	Aspect
M-1	 Mise en œuvre d'un dispositif mobile d'inspection des parties infé- rieures des ponts (véhicule utilisé pour le contrôle de la sous-face des ponts). 	

Protection des lignes électriques contre les dommages (dilatations linéaires, risques naturels)

Liaisons et fixations de câbles : elles doivent être dimensionnées en fonction de la zone sismique, conformément à la norme SIA 261, chapitre 16.

Pour les ponts enjambant des cours d'eau, où les installations de câblage sont fixées sous le pont, il convient de s'assurer d'un écart suffisant entre le niveau maximum des eaux et l'installation de câblage.

Protection des équipements d'un pont contre les incendies de câbles / explosions de manchons

En matière de réaction au feu, les câbles doivent satisfaire aux exigences du chapitre 5.2.1.

Les raccords à manchons doivent si possible être placés dans des chambres de jonction. En revanche, ils doivent être évités sous les ponts (en caisson ou au niveau des poutres).

Agencement des raccords à manchons

<u>Agencement G, route</u>: Dans la mesure du possible, l'accès aux emplacements des manchons situés au niveau des culées de pont doit être prévu via un chemin rural ou une route d'entretien se trouvant en dehors du périmètre de la route nationale. Dans les cas où cela est impossible, l'accès via la route nationale doit être étudié spécifiquement au projet avec l'OFROU.

Agencement G, chemin de fer : L'accès aux emplacements de manchons situés au niveau des culées de pont doit être prévu via un chemin rural ou une route d'entretien. Si cela est impossible pour des raisons topographiques ou autres, l'accès est uniquement possible avec des véhicules ferroviaires et les possibilités de pose doivent être déterminées de la même façon qu'avec les contraintes d'accès définies dans les chapitres 4.1.2 et 4.1.5.

Logistique des câbles

Agencement G, route et chemin de fer : Pour la livraison des bobines de câble, un accès durable et suffisant aux emplacements de tirage des câbles (en principe les culées de pont) doit être garanti. Il convient notamment de veiller à ce qu'il soit compatible avec le passage de véhicules spéciaux et de charges exceptionnelles, voir Figure 7 dans le chapitre 4.1.5.

Afin de prévoir suffisamment d'espace, il est important de tenir compte des dimensions des véhicules, de la bobine de câble chargée transversalement pour les longueurs > 560 m et des rayons de courbure de 3,5 m minimum à respecter lors de la pose du câble. Les chambres de tirage de câbles ne peuvent pas être déplacées et doivent être positionnées à distance appropriée du lieu de stationnement de la bobine.



La pose ou le montage de câbles sur des éléments d'un pont nécessite une logistique bien pensée (procédé, machines et équipements), adaptée aux forces de traction des câbles admissibles.

En cas de tirage des câbles depuis l'espace de circulation (culées), les chambres et les gaines de tirage de câbles doivent être aménagées via les culées de pont.

Tableau 26 : Mesures possibles en logistique des câbles

Dés.	Mesures structurelles (infrastructure)	Aspect
S-1	 Appuis/sellettes fixes pour l'acheminement des câbles le long des poutres/du tablier du pont 	Logistique

Dés.	Mesures matérielles (matériel)	Aspect
M-1	 Installation d'échafaudages temporaires avec appuis/sellettes pour le tirage des câbles 	Logistique

Attestations et clarifications spécifiques aux projets :

Le respect de la valeur limite d'immissions de 100 μ T fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique doit être justifié pour les usagers des transports. Il en va de même pour les emplacements accessibles par le personnel exploitant de l'infrastructure de support ou, éventuellement, le personnel d'autres entreprises. La valeur limite de 500 μ T de la Suva doit être respectée dans les endroits auxquels seul le personnel d'exploitation du gestionnaire national du réseau a accès (p. ex. une passerelle d'inspection).

Les liaisons et les fixations de câbles, ainsi que les mesures de protection contre les variations de longueur et les risques naturels doivent être définies spécifiquement à chaque projet.

Attestation statique relative à la charge supplémentaire du poids propre des câbles (en particulier en cas d'agencement sous la dalle en console d'un pont).

5.3 Exigences relatives à l'exploitation et à l'entretien

5.3.1 Exploitation et sécurité

En principe, l'exploitant de l'infrastructure de support (route / chemin de fer) conserve la « souveraineté de l'infrastructure ». Dans le cadre du regroupement, il confère toutefois à un co-utilisateur le droit d'intégrer, d'exploiter, de rénover et de remplacer une installation de câblage.

Comme pour un opérateur de téléphonie mobile, un accord d'exploitation doit être conclu entre l'exploitant de l'infrastructure de support et Swissgrid en tant que co-utilisateur.

Obligations de Swissgrid



En vertu de l'art. 17 de l'Ordonnance sur les installations à courant fort, les exploitants sont tenus d'assurer durablement l'entretien de leurs installations à courant fort ainsi que leur nettoyage et leur contrôle régulier, ou bien de confier ces travaux à des tiers.

L'art 18. de l'Ordonnance sur les installations à courant fort exige des exploitants qu'ils définissent une périodicité de contrôle pour chaque partie de l'installation en tenant compte des conditions extérieures, du type d'installation et de la sollicitation électrique. La périodicité des contrôles ne doit pas excéder cinq ans.

Sur cette base, en tant qu'exploitant, Swissgrid doit avoir accès à l'infrastructure à tout moment dans le cadre de ses obligations et selon leur urgence.

Obligations des exploitants de l'infrastructure de support

De son côté, l'exploitant de l'infrastructure de support est tenu d'assurer durablement l'entretien de cette dernière, ainsi que son nettoyage et son contrôle régulier, ou bien de confier ces travaux à des tiers

Outre les mesures de protection contre les dangers existants (tensions de pas et de contact, champs électromagnétiques) qui émanent de ses propres équipements d'exploitation et de sécurité ou de ses infrastructures ferroviaires, l'exploitant de l'infrastructure de support doit prendre des mesures de protection supplémentaires liées au regroupement.

Accord d'exploitation entre l'exploitant de l'infrastructure de support et le coutilisateur

Pour les auteurs de l'étude, du fait des raisons mentionnées ci-dessus, en cas de regroupement un accord de partenariat et d'exploitation est indispensable pour régir l'exploitation, la maintenance et l'entretien d'égal à égal.

Mise en place d'une organisation de sécurité supérieure

À cet effet, il convient d'élaborer des plans de gestion des incidents, définissant la conduite à adopter en cas de panne/dégâts/événement majeur sur l'une ou l'autre des infrastructures.

Tableau 27 : Réglementations possibles entre l'exploitant de l'infrastructure de support et Swissgrid

Dés.	Réglementations	Aspect
0-1	 Règles d'exploitation : responsabilités et obligations des deux parties et indemnisations documentation, flux et échange d'informations accès à la partie de l'installation de Swissgrid via l'espace de circulation ou avec des moyens de transport spéciaux (chemin de fer) pouvoir de disposition, en particulier pour l'accès à la partie de l'installation de Swissgrid si l'installation de câblage dispose de sa propre galerie technique 	Exploitation



Dés.	Réglementations	Aspect
O-2	Règles relatives à la maintenance et à l'entretien (voir chapitre 5.3.2)	Entretien
O-3	 Règles de surveillance en mode de fonctionnement normal Objectif : réduction de l'étendue des dommages sur la seconde infrastructure Effectué séparément par chaque exploitant d'infrastructure au moyen de systèmes distincts (matériel, logiciel) 	Exploitation / sécurité
0-4	 Règles de transmission des alarmes : Objectif : réduction de l'étendue des dommages sur la seconde infrastructure En cas d'événement grave, l'alarme de l'infrastructure touchée doit être transmise à la seconde infrastructure afin que celle-ci puisse prendre des mesures de protection appropriées. 	Sécurité
O-5	 Définir des plans d'action pour la gestion des incidents Objectif : maîtrise rapide des incidents ; réduction des dommages consécutifs Les deux exploitants d'infrastructures déterminent pour quels scénarios une mise en œuvre des mesures indépendantes ne serait pas possible. Pour ces scénarios, les plans d'action pour la gestion des incidents sont coordonnés (critères de désactivation de l'installation de câblage, matériel d'intervention requis, espace nécessaire sur le parcours d'accès et sur le lieu de l'incident, personnel spécialisé, temps nécessaire pour l'approvisionnement / le transport / la maîtrise, processus et scénarios). 	Sécurité
O-6	 Définir des plans d'action pour la remise en service Objectif : maîtrise rapide des incidents ; réduction des dommages consécutifs Les deux exploitants d'infrastructures déterminent pour quels scénarios une mise en œuvre des mesures indépendantes de remise en service ne serait pas possible. Pour ces scénarios, les plans d'action pour la remise en service sont coordonnés (critères d'activation de l'installation de câblage y compris). 	Sécurité
0-7	Exercices avec l'organisme de sécurité principal	Sécurité

5.3.2 Travaux d'entretien et de maintenance

Les auteurs de l'étude recommandent de régler les questions d'entretien et de maintenance ci-après dans l'accord d'exploitation :



- Responsabilités et interfaces pour l'évaluation de l'état et l'exécution des travaux de maintenance et d'entretien des infrastructures respectives.
- Prestations de services prises en charge par l'exploitant de l'infrastructure de support, ainsi que les indemnisations correspondantes, p. ex. :
 - accès par les rails, fourniture et mise à disposition de véhicules d'entretien et de traction appropriés pour l'agencement B-chemin de fer
 - travaux d'entretien des dispositifs techniques secondaires de la ligne de transport d'électricité, tels que les systèmes de ventilation, l'éclairage, etc.
- Procédé et délais de désactivation de l'installation de câblage dans la perspective de travaux d'entretien et de maintenance à effectuer sur l'infrastructure de support.

La planification des travaux de maintenance et d'entretien au sein du tronçon faisant l'objet d'un regroupement doit s'effectuer en commun et à la lumière des programmes individuels de préservation de la valeur et de maintenance, tout en tenant compte des différents cycles d'entretien (voir chapitres 4.3.2, 4.4.2, 4.5.2). De même, il faut tenir compte des délais de mise en œuvre à respecter, par exemple concernant la planification annuelle des désactivations de Swissgrid ou la déclaration des fermetures de tronçons (voir chapitre 4.4.6) si l'accès est uniquement possible par le rail. Pour parvenir à synchroniser les travaux d'entretien, des ajustements réciproques des cycles d'entretien peuvent ainsi être nécessaires pour le tronçon de regroupement concerné (avec dans certains cas des intervalles d'entretien raccourcis ou rallongés pour certains composants ou équipements des installations). Le programme d'entretien commun doit rester suffisamment souple pour permettre l'intégration à court ou à moyen terme de travaux d'entretien dont la nécessité a été constatée lors d'une inspection périodique.

Pour les travaux à proximité de câbles à haute tension, il est recommandé d'élaborer un concept de sécurité du travail spécifique au projet. Celui-ci doit définir entre autres dans quelles conditions l'exploitant de l'infrastructure de support a le droit d'intervenir sur ses propres câbles d'énergie/de processus désactivés, lorsque la ligne haute tension est active en parallèle (voir chapitre 4.7).

Pour le travail sur des lignes parallèles et leur désactivation, l'élaboration d'un organigramme décisionnel spécifique au projet est conseillée sur le modèle de l'exemple illustré dans la Figure 12.



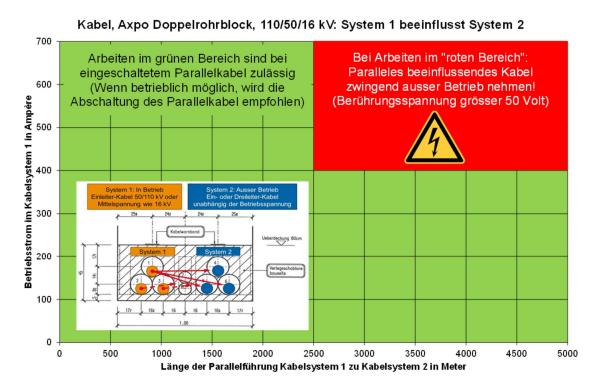


Figure 12 : Organisation des travaux sur des câbles posés en parallèle (Source : Axpo Grid AG)



6 Conclusions sur la faisabilité du regroupement

6.1 Faisabilité du regroupement

En respectant les exigences établies dans cette étude, le regroupement de câbles à haute tension 380 kV avec des infrastructures routières et ferroviaires est techniquement réalisable. Les conditions de construction standard actuelles des infrastructures de support devraient permettre de respecter la valeur limite d'immissions de 100 µT fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique avec la plupart des agencements en mode de fonctionnement normal.

Une distinction s'impose toutefois. Tous les agencements n'offrent pas la même adéquation pour un regroupement ou une utilisation multifonctionnelle, du moins avec les hautes tensions allant jusqu'à 380/220 kV. De plus, à l'exception de l'agencement F, la réalisation n'est généralement possible que si les deux infrastructures sont construites simultanément ou si l'infrastructure de support fait l'objet d'un assainissement global. Ce dernier cas s'applique d'ailleurs davantage aux routes nationales qu'aux lignes de chemin de fer, rénovations de tunnels y comprises.

Tunnel



L'agencement A pour les projets routiers offre à ce titre une bonne adéquation. Si cette solution propose plusieurs variantes, l'agencement dans une galerie technique est toutefois à privilégier. Du point de vue des auteurs de l'étude, un regroupement dans une galerie technique unique n'est guère faisable en tenant compte des puissances de transmission habituellement requises. Cependant, disposer la ligne électrique dans une galerie technique structurellement séparée des installations de l'exploitant de l'infrastructure de support est parfaitement faisable.

Tunnel



 L'agencement D, pour route ou chemin de fer, s'avère également adéquat, à condition que la section puisse être conçue de manière coordonnée à un stade précoce de la planification.

Tunnel



L'agencement B-chemin de fer doit être examiné au cas par cas, dans la mesure où l'espace utile dépend fortement du profil et de la section du tunnel. Un œil critique doit notamment être posé sur les tunnels à deux tubes, étant donné que la proximité spatiale de l'installation de câblage avec les voies piétonnes/chemins de fuite situés des deux côtés complique le respect de la valeur limite d'immissions fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique sans mesures de blindages supplémentaires. L'agencement B-chemin de fer permet davantage de regrouper des lignes du niveau de réseau inférieur, comme cela se fait déjà couramment avec les lignes de traction ferroviaire de 132 kV, dans la mesure où la problématique de la résonance le permet.



D'un point de vue technique, l'agencement E semble relativement facile à mettre en œuvre. En tant que bande traversant l'espace sur 25 m de large, le tracé des Tronçon routes nationales offre généralement un bon potentiel de regroupement. Les obsouvert tacles se situent davantage au niveau de la compatibilité avec les exigences des routes nationales. Il apparaît toutefois que la réalisation d'un faisceau de câbles de bout en bout pourrait prendre plusieurs décennies, étant donné qu'elle est tributaire de la rénovation des tronçons d'autoroute concernés (UPIaNS). ••• À moyen terme, il faudrait donc se contenter de câblages partiels sur des tronçons donnés (voir chapitre 4.3.2). L'agencement F permet de contourner les obstacles mentionnés plus haut. Les Tronçon coûts de construction augmentent cependant considérablement lorsque la batteouvert rie de tubes doit être positionnée dans un talus (remblais, tranchées). L'agencement F serait par exemple idéal dans le couloir autoroutier et électrique Benken SG / Reichenburg - Sils i.D. / Thusis, qui présente des possibilités de synergies et offre des surfaces planes et non construites sur de longues dis-... tances. L'agencement G, chemin de fer ou route, doit être examiné au cas par cas en Pont raison de la grande variété des types de ponts et des variantes d'agencement. Les conditions sont fondamentalement réunies.

L'objectif d'utilisation mesurée du sol est uniquement réalisable s'il est possible de cumuler les usages sur une infrastructure de support existante (comme dans le cas d'une utilisation multifonctionnelle). Si, au lieu de cela, la ligne câblée est posée parallèlement à une route nationale ou une voie ferrée, mais en dehors du périmètre de cette dernière, l'objectif ne sera pas pleinement atteint. Une telle situation se produit avec l'agencement F si la place disponible dans ce périmètre est insuffisante ou s'il faut éviter des talus ou des remblais. Comme pour un câblage sans regroupement, il faut dans ce cas faire l'acquisition des parcelles de tiers et s'acquitter de droits de passage. Les surfaces nécessaire se situent cependant toujours en bordure de parcelle et à côté d'un axe de circulation. Une mesure d'aménagement du territoire consisterait dans ce cas à acquérir du terrain pour élargir le « couloir d'infrastructure » de la largeur nécessaire à l'installation de câblage.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier que l'ouvrage de transition vers la ligne aérienne nécessite environ 1000 m² d'espace, qui doivent être trouvés en dehors de l'infrastructure de support. Ce besoin est certes temporaire, mais peut toutefois durer jusqu'à 30 ans.

Les risques augmentent légèrement avec le regroupement, mais restent globalement faibles. Ils découlent essentiellement des infrastructures de support et non de la ligne de transport d'électricité (risques de collision et d'incendie dans les tunnels routiers). Du point de vue de la sécurité, l'agencement A avec une galerie technique et les agencements D et F s'avèrent plus favorables que les autres.



6.2 Coordination de la planification et de la réalisation

Dans le cadre de l'élaboration de l'étude, le groupe de travail du DETEC a constaté qu'une coordination précoce des processus de planification entre l'infrastructure de support et la ligne de transport d'électricité est un facteur central de succès du regroupement.

Pour le développement de projets de regroupement, nous partons du principe que la gestion de projet de l'infrastructure de support et de la ligne électrique se déroulent séparément mais simultanément. Entre la planification sectorielle, qui permet d'identifier les possibilités de regroupement, et la procédure d'approbation des plans, qui valide les projets concrets, une planification concertée des deux infrastructures est nécessaire, en particulier pour une utilisation multifonctionnelle (cf. Tableau 28). Pour assurer le succès des projets de regroupement, selon le degré d'obligation légale des déclarations d'intentions réciproques et des stratégies communes des exploitants des infrastructures peuvent être nécessaires, en particulier en ce qui concerne la synchronisation des projets. Le calendrier des projets de regroupement devrait être coordonné entre les deux exploitants d'infrastructure concernés, afin d'assurer leur progression parallèle. Le niveau de détail de la gestion du projet d'infrastructure de transport devrait si possible être similaire à celui du projet de ligne électrique.

Tableau 28 : Déroulement recommandé de la planification en cas d'utilisation multifonctionnelle

Phase du		Compétence	
projet	Prestations principales ³⁴	Infrastructure de support	Swissgrid
Étude	 Étude des variantes de technologies de transport d'électricité 		Х
	 Définition des exigences système pour le transport d'électricité 		Х
Avant	 Dimensionnement préalable du profil de l'ouvrage / des éléments structurels 	Х	X
Avant- projet ³⁵	 Élaboration de concepts généraux de ventilation / refroidissement, mise à la terre et compensation de potentiel, sécurité / protection incendie, logistique des câbles 	х	X
	 Raccordement au réseau aérien 	X	Х

En cas de tracé parallèle en dehors du périmètre d'une route nationale ou d'une voie ferrée, la compétence peut relever exclusivement de Swissgrid, avec une coordination avec l'infrastructure de support autant que nécessaire.

Pour les routes nationales, l'avant-projet correspond au projet général ou au concept de mesures.



Phase du		Compét	ence
projet	Prestations principales ³⁴	Infrastructure de support	Swissgrid
	Dimensionnement électrotechnique		Х
	 Dimensionnement structurel 	X	
	 Coordination des interfaces, telles que la logistique des câbles, la ventilation 	Х	Х
Projet de	 Conception générale de la ventilation 	X	
construction et de mise à l'enquête ³⁶	 Conception de la ventilation pour la galerie tech- nique servant au transport d'électricité et refroidis- sement des lignes câblées 		Х
	 Calculs et attestations concernant la compensation de potentiel et de mise à la terre 	x	X
	 Logistique de construction, y compris logistique des câbles 	Х	Х

Pour un déroulement selon le Tableau 28, les conventions d'utilisation pour l'infrastructure de support et la ligne de transport d'électricité, ainsi que les interfaces correspondantes, doivent également être coordonnées entre elles.

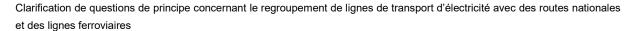
Le partenaire responsable des les vérifications techniques et des réceptions à effectuer durant la phase de construction doit être spécifié (par ex. pour les mesures de mise à la terre).

Si un regroupement doit être réalisé dans un délai proche sans devenir une œuvre inachevée (voir commentaire sur l'agencement E dans le chapitre 6.1), il convient aussi de réfléchir à une adaptation de la philosophie existante en matière d'entretien. Si des conflits d'objectifs sont prévisibles, dans la mesure où le trafic sera perturbé par des chantiers plus souvent et sur des tronçons plus importants, cette discussion est éventuellement à mener au niveau du DETEC.

6.3 Regroupement de niveau de réseau 3 et 5

Le regroupement de lignes à haute tension du NR 3 ou de lignes à moyenne tension du NR 5 avec des routes nationales ou des lignes de chemin de fer n'a pas été examiné dans le cadre cette étude. Ce type de regroupement semble cependant tout à fait réalisable et pertinent sous certaines conditions. En raison de la faible tension et de l'intensité de courant inférieure des lignes des réseaux de distribution (ex. intensité de courant max. sur le NR 5 env. 630 – 800 A et sur le NR 3 env. 800 A contre env. 1900 A sur le NR 1), divers conflits d'objectifs devraient se résoudre, p. ex. en matière

³⁶ Pour les routes nationales, le projet de construction et de mise à l'enquête correspond au projet détaillé d'exécution ou au projet de mesures.





d'espace requis, de rayonnement non ionisant, de compatibilité électromagnétique, de sécurité au travail, de dissipation de la chaleur, et de logistique des câbles et des réparations.

En guise d'exemple concret de la possibilité de regroupement d'une ligne électrique du NR 3 avec une route nationale, on peut citer la réalisation du tronçon manquant de l'autoroute de l'Oberland zurichois entre la jonction Uster Est et le giratoire de Betzholz, pour laquelle un mandat d'examen portant sur l'intégration de la ligne haute tension Heusberg-Betzholz au tracé de la nouvelle autoroute a été inscrit au plan directeur cantonal. Du point de vue de la préservation des paysages, un regroupement pourrait apporter une amélioration significative en évitant de toucher à un site marécageux d'importance nationale.

Signalons enfin qu'à compter de l'entrée en vigueur de la nouvelle loi fédérale sur la transformation et l'extension des réseaux électriques (« Stratégie Réseaux électriques »), qui est prévue au 2° trimestre 2019, un facteur de surcoût s'appliquera pour le NR 3 et NR 5. La décision dans quels cas réaliser une ligne aérienne et dans lesquels opter pour une ligne enterrée se fera entre autres sur la base de ce facteur. Au niveau NR 1, la décision technique « ligne aérienne ou enterrée » continuera d'être prise après mise en balance de l'intérêt de divers facteurs comme le développement territorial, la préservation de l'environnement, les aspects techniques et la rentabilité. Les répercussions qu'aura l'introduction du facteur de surcoût sur la réalisation des projets de regroupement dans les niveaux de réseau 3 et 5 ne sont pas définies à ce jour.



7 Possibilités d'action réglementaires

7.1 Besoins d'adaptation des lois / ordonnances

7.1.1 Situation initiale

En vertu de l'art. 75 de la Constitution fédérale (CF; RS 101), la Confédération fixe les principes applicables à l'aménagement du territoire, servant à une utilisation judicieuse et mesurée du sol. Conformément aux art. 1 à 3 de la Loi sur l'aménagement du territoire (LAT; RS 700), la Confédération veille à une utilisation mesurée du sol et prend des mesures visant à protéger les bases naturelles de la vie, telles que le sol, la forêt et le paysage. Les constructions et les installations doivent s'intégrer dans le paysage, et les sites naturels et les territoires servant au délassement doivent être préservés. Lors de la planification d'activités ayant des effets sur l'organisation du territoire, les autorités examinent en particulier, compte tenu du développement spatial souhaité, quels sont les besoins de terrains pour l'exercice de ces activités, quelles possibilités et variantes de solution entrent en ligne de compte et quelles possibilités permettent de garantir une utilisation mesurée du sol et de réduire à un minimum les atteintes à l'environnement (voir art. 2 al. 1 Ordonnance sur l'aménagement du territoire [OAT; RS 700.1]). Enfin, les autorités sont tenues de ménager l'aspect caractéristique du paysage et des localités (voir art. 3 Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage [LPN; RS 451]).

7.1.2 Considérations

Les obligations de contrôle lors de la planification découlant de la CF, de la LAT, de l'OAT et de la LPN ne sont pas assorties de dispositions concernant le regroupement dans les lois spéciales correspondantes (LApEl, LIE, LCF, LRN entre autres). Les exploitants d'infrastructures routières, ferroviaires et électriques ne sont pas soumis à une obligation légale directe de regrouper leurs infrastructures avec d'autres ou de développer des projets en ce sens. Pour évaluer si un projet de construction de ligne électrique doit être regroupé avec une autre infrastructure, divers aspects sont examinés et mis en balance dans le cadre du processus de planification sectorielle ainsi que dans la procédure d'approbation des plans. Pour les processus du Plan sectoriel des lignes de transport d'électricité (PSE), il s'agit des aspects « aménagement du territoire », « préservation de l'environnement », « technique » et « rentabilité ». Le regroupement s'imposera si l'examen global de ces quatre aspects plaide en sa faveur. De plus, le potentiel de regroupement doit être identifié au préalable et la planification doit pouvoir être effectuée en temps opportun (« window of opportunity »). En pratique, les projets de regroupement qui aboutissent sont par conséquent ceux qui bénéficient de l'appui ou du soutien d'au moins un exploitant d'infrastructure, en termes de planification ou sur le plan politique.

Le besoin et, par conséquent, le délai de réalisation d'une extension ou d'une rénovation (assainissement global) des infrastructures varient au cas par cas. En raison de la complexité et des influences réciproques des projets, en cas de regroupement, la réalisation de la ligne de transport d'électricité et de l'infrastructure de transport (route, chemin de fer) doivent dans une certaine mesure être gérées et développées en parallèle. Ceci nécessite une concertation et une coordination précoce de la planifica-



tion des exploitants d'infrastructure concernés, ainsi qu'un engagement de ces derniers à anticiper certaines étapes de planification absolument nécessaires.

En raison du (fréquent) décalage temporel entre la nécessité des infrastructures de réseau électrique et la réalisation de l'infrastructure de transport, il convient de régler le renouvellement anticipé du réseau de transport d'électricité ainsi que le financement des mesures de construction correspondantes (p. ex. galeries technique ou batteries de tubes). En guise d'exemple concret, on peut citer le second tube du tunnel routier du Saint-Gothard, où la réalisation de la galerie technique 380 kV entraînera des coûts plusieurs années avant l'utilisation planifiée de l'infrastructure par Swissgrid. Ceci soulève la question de savoir selon quelles dispositions l'imputation de ces coûts est assurée et si le cadre réglementaire actuel permet un tel préfinancement. D'après l'art. 15 al. 1 LApEl, les coûts d'exploitation et les coûts de capital d'un réseau sûr, performant et efficace sont considérés comme imputables et, selon l'art. 10 al. 1 LApEI, les subventions croisées entre l'exploitation du réseau et les autres secteurs d'activité sont interdites. Il est en outre probable que l'utilisation multifonctionnelle des infrastructures n'est pas toujours rentable - même si celles-ci sont sûres et performantes - et peut même engendrer des surcoûts considérables dans certain cas. C'est notamment aussi le cas lorsque le regroupement des infrastructures est uniquement possible à condition de réaliser une ligne de transport d'électricité enterrée en lieu et place d'une ligne aérienne et/ou lorsque les exigences accrues d'un regroupement nécessitent des mesures coûteuses.

Concernant l'exploitation, l'entretien et le dépannage, en vertu des dispositions actuellement en vigueur (voir entre autres art. 30 Ordonnance sur les routes nationales [ORN; RS 725.111]), en cas de regroupement avec une route nationale, l'« infrastructure électrique » ne devra pas porter atteinte à la construction et au fonctionnement de cette dernière. Pour l'exploitation d'installations de transport d'électricité dans des infrastructures multifonctionnelles (p. ex. un tunnel sur une route nationale), cette réglementation peut s'avérer désavantageuse pour Swissgrid qui est aussi responsable d'une infrastructure d'intérêt national et, par conséquent, tributaire d'une résolution rapide du problème en cas de dysfonctionnement exceptionnel.

7.1.3 Possibilités d'action

Contraindre les exploitants d'infrastructures (routes, voies ferrés et lignes électriques) à regrouper leurs infrastructures (« obligation de regroupement ») ne serait pas efficace et n'aurait dans certains cas (entre autres pour des raisons de technique, de surcoûts ou de risques) aucune pertinence.

Du point du vue du groupe de travail du DETEC, les champs d'action ci-après offrent toutefois la possibilité d'encourager le regroupement grâce à une adaptation de la réglementation (vor annexe 1):

- Réglementation sur les responsabilités et obligation d'examen du potentiel de regroupement géographique
- Obligation pour les exploitants d'infrastructures d'étudier le regroupement dans le cadre de leurs projets
- Obligation de coordination de la planification des exploitants d'infrastructures
- Obligation de travaux préparatoires en cas de réalisation non simultanée des projets de groupement



 Réglementation de la prise en charge et de l'imputabilité des coûts liés aux projets de regroupement, par exemple pour le renouvellement anticipé d'infrastructures, le préfinancement d'une partie des infrastructures (p. ex. les galeries techniques), les surcoûts liés au projet, etc.

7.2 Besoins d'adaptation des réglementations techniques

7.2.1 Situation initiale

Chaque infrastructure – route nationale, voie ferrée ou ligne de transport d'électricité – fait l'objet de réglementations techniques, qui définissent de façon cohérente les contraintes et les exigences correspondantes.

7.2.2 Considérations

Sur le plan technique, le regroupement n'implique aucunement de s'engager en terre inconnue. La seule nouveauté peut éventuellement résider dans la nécessité d'appliquer la réglementation de façon cumulative, de se coordonner entre exploitants d'infrastructures et de collaborer sous forme interdisciplinaire entre spécialistes. Pour les routes nationales et les voies ferrées, cette interdisciplinarité est déjà une pratique courante lorsqu'il s'agit d'intégrer aux ouvrages des lignes câblées jusqu'à une tension de 50 kV voire 132 kV. Pour les infrastructures électriques, la pose de ligne câblée dans des ouvrages fermés relève encore davantage du cas particulier et se trouve plutôt dans des parties d'ouvrage non accessibles aux usagers des transports.

Dans le cadre de l'élaboration de l'étude, il est néanmoins apparu que, selon le contexte dans lequel ils ont été élaborés, certaines réglementations n'étaient pas totalement compatibles sur certains aspects où elles se chevauchent. Ces points donnent parfois lieu à des contradictions ou des interrogations quant au domaine d'application des différentes règles. Jusqu'à présent, cette situation ne revêtait guère d'importance puisque les cas d'utilisation multifonctionnelle entre des lignes de transport d'électricité et des routes nationales ou des lignes de chemin de fer restaient peu fréquentes. De plus, les règles fixées par les manuels techniques de l'OFROU et les dispositions d'exécution de l'OCF se concentraient jusqu'ici uniquement sur les câbles spécifiques à l'exploitation des infrastructures routières ou ferroviaires.

7.2.3 Possibilités d'action

Pour les champs d'action ci-après, les discussions menées dans le cadre du groupe de travail du DE-TEC ont montré qu'une définition claire des champs de validité et d'application des différentes réglementations ainsi qu'une clarification des exigences seraient utiles.

Délimitation mutuelle et clarification du champ de validité de l'OLT 4 et du commentaire associé, ainsi que de la norme SIA 197/2 : pour des raisons de proportionnalité (répercussions en termes de coûts), les auteurs de l'étude déconseillent l'application de l'OLT 4 et en particulier du commentaire correspondant aux tunnels de circulation. Le champ d'application du commentaire sur les OLT 3 et 4 devrait être clarifié concernant les tunnels de circulation.



- Délimitation du champ d'application de la norme SIA 205 pour les tunnels de circulation : du point de vue des auteurs de l'étude, il ne faut pas se référer à la norme SIA 205 pour les tunnels de circulation. Ces derniers sont régis par les normes SIA 197, 197/1 et 197/2.
- Délimitation du champ d'application de la norme SIA 197/2 et de l'annexe 1 de l'Ordonnance sur les installations à courant fort (installations en locaux) concernant le gabarit des couloirs de montage, voies de fuite et sorties de secours.
- Délimitation du champ d'application de la norme SIA 197/2 et de l'Ordonnance sur les lignes électriques en matière de protection incendie, c'est-à-dire concernant le compartimentage coupe-feu.
- Équivalence des exigences de test de réaction au feu des câbles : À défaut de cas pratiques récemment réalisés ou de projets d'utilisation multifonctionnelle dont les plans seraient en cours d'approbation, il n'est pas encore définitivement établi si les câbles de la ligne de transport d'électricité devront à l'avenir satisfaire à la nouvelle classification de la norme SN EN 13501-6 lorsqu'ils sont intégrés à des tunnels, des galeries techniques ou des galeries de sécurité. Il est cependant aussi envisageable de continuer à permettre l'utilisation des exigences de test traditionnelles pour vérifier la conformité des caractéristiques de faible inflammabilité, de propagation réduite du feu, de faible densité de fumée et de faible toxicité, ainsi que l'autorise la DE-OCF.

7.2.1 Procédure recommandée pour réduire les incertitudes

Cette étude soulève le besoin de clarification des réglementations techniques, mais n'est pas en mesure de garantir elle-même une quelconque certitude juridique dans les différents domaines d'action. La décision définitive concernant l'interprétation des réglementations contradictoires doit être prise par les autorités d'autorisation dans le cadre d'un projet de regroupement concret, après avoir entendu l'ensemble des parties concernées.

Du point de vue actuel, pour réduire ce type d'incertitudes – les contradictions identifiées sont données à titre d'exemple mais ne sont probablement pas exhaustives – et les risques liés aux processus, dans le cadre de projets complexes ou de grande envergure, il est conseillé de chercher très tôt à nouer le dialogue avec les autorités d'autorisation afin de clarifier quelles conditions et justificatifs doivent être validés pour pouvoir envisager une approbation. Le demandeur doit à cet effet soumettre une proposition de procédure s'appuyant sur une argumentation solide. Le cas échéant, il est aussi possible d'avoir recours à des autorisations dérogatoires, à l'instar de celles que prévoit entre autres l'art. 2 de l'OLEI.

Il est également possible que la situation se clarifie à moyen ou long terme grâce à une coordination des ordonnances et des normes entre elles. Lors de la prochaine révision de l'OLEI (RS 734.31), il s'agira notamment de remanier l'art. 70 « Pose dans les galeries et les tunnels ». L'Ordonnance sur les installations à courant fort (RS 734.2) est actuellement en cours de révision. Elle s'avère avant tout intéressante pour sa section 2, « Installations en locaux », qui traite de la protection incendie. La norme SN EN 61 936-1 « Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV, partie 1 » continue entre autres de s'appliquer au titre de l'état actuel de la technique.



Liste des abréviations et acronymes

ARE Office fédérale du développement territorial

CEM Compatibilité électromagnétique

CFF Chemins de fer fédéraux

DETEC Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la

communication

EES Équipements d'exploitation et de sécurité

ElCom Commission fédérale de l'électricité

ESTI Inspection fédérale des installations à courant fort

ETF Entreprise de transport ferroviaire

FO Fibre optique
GAT Galerie technique
HT Haute tension

HTSL Supraconducteur à haute température

LIG Ligne à isolation gazeuse
LSM Lieu de séjour momentané
LUS Lieu à utilisation sensible

NR Niveau de réseau

OFEN Office fédéral de l'énergie

OFEV Office fédéral de l'environnement

OFROU Office fédéral des routes

OFSP Office fédéral de la santé publique OFT Office fédéral des transports

PER Polyéthylène réticulé

PSE Plan sectoriel des lignes de transport d'électricité

RNI Rayonnement non ionisant

RS Recueil systématique du droit fédéral

SECO Secrétariat d'État à l'économie

SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes

SIN Plan sectoriel des transports, partie Infrastructure route SIS Plan sectoriel des transports, partie Infrastructure rail

TJM Trafic journalier moyen

TPC Tuyau(x) de protection des câbles

UPIaNS Planification de l'entretien des routes nationales

WBGT Wet-bulb globe temperature (indice de stress thermique)



Bibliographie, droit fédéral et réglementations techniques

Bibliographie

[1]	Routes nationales multifonctionnelles pour préserver le paysage, Rapport du Conseil fédéral en réponse au Postulat 08.3017, Rudolf Rechsteiner, Berne, 21 juin 2017
[2]	Problématique de la résonance sur le réseau d'alimentation des CFF, CFF, Zollikofen, 24 septembre 2012
[3]	Cargo sous terrain : le Conseil fédéral veut ouvrir une consultation, communiqué de presse du 28 septembre 2018
[4]	Planification de l'entretien des routes nationales https://www.astra.admin.ch/astra/fr/home/themes/routes-nationales/chantiers/wissenswertes/planification-de-l-entretien.html
[5]	Rapport annuel de synthèse 2016 sur la CP 2013-2016, CFF Infrastructure, Berne, mars 2017
[6]	Câblage intermédiaire de la connexion de ligne 380/132/65 kV Mœrel – Ulrichen : étude de faisabilité, Prof. DrIng. habil. H. Brakelmann, BCC Cable Consulting, DiplIng. Shuan Ghaderi, S&P Consult GmbH, septembre 2014
[7]	Expertise d'évaluation de la ligne 380 kV « Steiermarkleitung » du point de vue de la technique énergétique : UnivProf. em. DrIng. habil. Friedhelm Noack, 28 novembre 2005
[8]	Publication IEC 62067 : Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltage above 150 kV (Um = 170 kV) up to 500 kV (Um = 550 kV) – Test methods and requirements, 2001
[9]	CIGRE-WG B1-10 Updating of service experience of HV underground and submarine cable systems CIGRE-WG B1-08, Cable systems in multipurpose or multi shared structures
[10]	Rayonnements non ionisants et protection de la santé en Suisse, informations de base, Office fédéral de la santé publique (OFSP), Berne, janvier 2006
[11]	Publication 1903.f, Valeurs limites d'exposition aux postes de travail, Suva, Lucerne, janvier 2018
[12]	Publication 2869/26.f, Prophylaxie médicale lors des travaux souterrains en ambiance chaude et humide, Suva, Lucerne, 4e édition, mars 2003
[13]	Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST) : Communications n° 83, CFST, Lucerne, novembre 2016
[14]	Publication 66089.f, Détermination des dangers et planification des mesures dans les petites entreprises, Suva, Lucerne, novembre 2004



Lois et ordonnances

Constitution fédérale :				
CF	Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999 (CF ; RS 101).			
Aménagement du territoire :				
LAT	Loi fédérale sur l'aménagement du territoire du 22 juin 1979 (Loi sur l'aménagement du territoire, (LAT ; RS 700)			
OAT	Ordonnance sur l'aménagement du territoire du 28 juin 2000 (OAT ; RS 700.1)			
Environnement :				
LPE	Loi fédérale sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (Loi sur la protection de l'environnement, LPE ; RS 814.01)			
ORNI	Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (ORNI ; RS 814.710)			
Route :				
LRN	Loi fédérale sur les routes nationales du 8 mars 1960 (LRN ; RS 725.11)			
ORN	Ordonnance sur les routes nationales du 7 novembre 2007 (ORN ; RS 725.111)			
OCR	Ordonnance sur les règles de circulation routière du 13 novembre 1962 (OCR ; RS 741.11)			
Chemin de fer :				
LCdF	Loi sur les chemins de fer du 20 décembre 1957 (LCdF ; RS 742.101)			
OCF	Ordonnance sur la construction et l'exploitation des chemins de fer du 23 novembre 1983 (Ordonnance sur les chemins de fer, OCF; RS 742.141.1) et ses dispositions d'exécution (DE-OCF)			
Électricité :				
LIE	Loi fédérale concernant les installations électriques à faible et à fort courant du 24 juin 1902 (Loi sur les installations électriques, LIE ; RS 734.0)			
LApEl	Loi fédérale sur l'approvisionnement en électricité du 23 mars 2007 (Loi sur l'approvisionnement en électricité, LApEI; RS 734.7)			
OApEl	Ordonnance du 14 mars 2008 (Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité, OApEI ; RS 734.71)			
Ordonnance sur le courant fort	Ordonnance sur les installations électriques à courant fort du 30 mars 1994 (Ordonnance sur le courant fort ; RS 734.2)			
OLEI	Ordonnance sur les lignes électriques du 30 mars 1994 (OLEI ; RS 734.31)			
OCEM	Ordonnance sur la compatibilité électromagnétique du 25 novembre 2015 (OCEM ; RS 734.5)			
Santé / protection des travailleurs :				
LTr	Loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce du 13 mars 1964 (Loi sur le travail, LTr ; RS 822.11)			
OLT 3	Ordonnance 3 relative à la loi sur le travail du 18 août 1993 (Protection de la santé, OLT 3 ; RS 822.113)			



OLT 4	Ordonnance 4 relative à la loi sur le travail du 18 août 1993 (Entreprises industrielles, approbation des plans et autorisation d'exploiter, OLT 4 ; RS 822.114)				
AES/SSIGE	MaSéc : Manuel de la sécurité AES/SSIGE – version 2018				
Autres :					
OPCo	Ordonnance sur les produits de construction du 27 août 2014 (OPCo; RS 933.01)				

Normes, directives et manuels techniques

Normes:			
SIA 197	Norme SIA 197 (2004), Projet de tunnels – Bases générales, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich		
SIA 197//1	Norme SIA 197/1 (2004), Projet de tunnels – Tunnels ferroviaires, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich		
SIA 197/2	Norme SIA 197/2 (2004), Projet de tunnels – Tunnels routiers, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich		
SIA 205	Norme SIA 205 (2003), Pose de conduites et câbles souterrains – Coordination des implantations et bases techniques, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich		
SIA 260	Norme SIA 260 (2013), Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich		
SIA 261	Norme SIA 261 (2014), Actions sur les structures porteuses, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich		
DIN IEC 60183	Lignes directrices pour le choix de systèmes de câbles à haute tension en courant alternatif (IEC 60183:2015)		
IEC 60287-1-1	Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1-1 : Équations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Généralités, 2006 (courant permanent maximal admissible selon l'annexe 1 chiff. 13 al. 2 let. b ORNI)		
IEC 60288	Tube and valve shields (conducteurs pour câbles isolés)		
IEC 60853	Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables (courant admissible en charge cyclique)		
IEC 60949	Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects (courants de court-circuit admissibles)		
EN 50110-1	EN 50110-1:2013, Exploitation des installations électriques - Partie 1 : exigences générales		
SN EN 61936	EN 61936-1+A1:2014-12, Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV - Partie 1 : règles communes		
SN EN 13501-6	SN EN 13501-6, Classement au feu des produits et éléments de construction -		



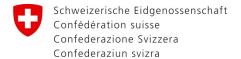
	Partie 6 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu sur câbles électriques ; 2014			
SN EN 50122-2	Applications ferroviaires - Installations fixes - Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour - Partie 2 : mesures de protection contre les effets des courants vagabonds issus de la traction électrique à courant continu			
SN EN 50522	SN EN 50522:2010-11, Prises de terre des installations électriques à courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV			
SN EN 50575	SN EN 50575:2014, Câbles d'énergie, de commande et de communication - Câbles pour applications générales dans les ouvrages de construction soumis aux exigences de réaction au feu			
SN EN 60332-3- 24	SN EN 60332-3-24 : Essais des câbles électriques et des câbles à fibres optiques soumis au feu (Catégorie C)			
SN EN 61034-1 SN EN 61034-2	SN EN 61034-1 et SN EN 61034-2, Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles, appareillage d'essai (partie 1) + Procédure d'essai et exigences (partie 2)			
SN EN 60754-1 SN EN 60754-2	SN EN 60754-1 et SN EN 60754-2, Essai sur les gaz émis lors de la combustion des matériaux des câbles : Partie 1 : détermination de la quantité de gaz acide halogéné Partie 2 : détermination de la conductivité et de l'acidité (par mesure du ph)			
SNG 483755	Mise à la terre comme mesure de protection dans les installations électriques à courant fort ; commentaires des articles 53 – 61 de l'Ordonnance sur le courant fort			
SN EN 61000	Compatibilité électromagnétique (CEM)			
AEAI	Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI) Norme de protection incendie, 01.01.2015 / 1-15fr			
Directives / Fiches	s techniques OFROU :			
OFROU 11001	Directive OFROU 11001, Profils types, Routes nationales de 1re et 2e classes avec séparation des sens de circulation (2017, V1.10), Office fédéral des routes, Berne			
OFROU 13002	Directive OFROU 13002, Ventilation des galeries de sécurité des tunnels routiers (2008, V1.06), Office fédéral des routes, Berne			
OFROU 2B010	OFROU 2B010, Manuel Planification de l'entretien, Processus et produits (2016, V1.00), Office fédéral des routes, Berne			
OFROU 21001	OFROU 21001, Manuel technique Tracé/Environnement (2018), Office fédéral des routes, Berne			
OFROU 22001	OFROU 22001, Manuel technique Ouvrages d'art (2018), Office fédéral des routes, Berne			
OFROU 23001	OFROU 23001, Manuel technique Équipements d'exploitation et de sécurité (2018), Office fédéral des routes, Berne, notamment : - Fiche technique 23 001-11350 Ventilation des galeries de sécurité (V1.10), 01.01.2018			
	- Fiche technique 23 001-12130 Câbles (V1.20), 01.01.2018			



	 Fiche technique 23 001-14200 Batterie de tubes (V1.20), 01.01.2016 			
	 Fiche technique 23 001-14201 Hiérarchie de l'infrastructure (V1.10), 31.12.2012 			
	 Fiche technique 23 001-14202 Disposition des tubes (V1.00), 14.07.2011 			
	 Fiche technique 23 001-14203 Configurations des batteries (V1.00), 14.07.2011 			
	 Fiche technique 23 001-14204 Position de la batterie (V1.00), 14.07.2017 			
	- Fiche technique 23 001-12130 Câbles (V1.20), 01.01.2018			
	- Fiche technique 23 001-12220 CEM (V1.00), 14.05.2010			
	 Fiche technique 23 001-11710 Mise à terre et protection contre la foudre (V2.10), 01.01.2018 			
	 Fiche technique 23 001-11711 Mise à terre à ciel ouvert (V2.00), 07.12.2012 			
	- Fiche technique 23 001-11712 Mise à terre en tunnel (V2.00), 07.12.2012			
OFROU 24001	OFROU 24001, Manuel technique Tunnel/Géotechnique (2018), Office fédéral des routes, Berne, notamment : - Fiche technique 24 001-10404 Galerie technique (V2.03), 01.01.2015			
	 Fiche technique 24 001-10405 Batteries de tubes et chambres de tirage (V2.210), 01.07.2017 			
	 Fiche technique 24 001-10706 Galeries transversales piétonnes (V2.03), 01.01.2015 			
	 Fiche technique 24 001-10707 Galeries de sécurité, galeries de fuite (V2.03), 01.01.2015 			
Directives CFF :				
CFF I-20036	Réglementation I-20036 Mesures d'autosauvetage dans les tunnels - mesures d'infrastructure visant à faciliter l'autosauvetage dans les tunnels, CFF, Berne, 1er mai 2015			
CFF I-ET 10003	Réglementation I-ET 10003, Manuel de mise à terre CFF, CFF, Berne, 1er novembre 2010			
CFF I-AT-FS 3003.05	Réglementation I-AT-FS 3003.05, Protection des câbles - Projet et construction, CFF, Berne, 2 mai 2011			
CFF I-PS 3003.07	Réglementation I-PS 3003.07, Directives concernant les travaux effectués sur des câbles à haute tension (>1 kV), CFF, Berne, 15 janvier 2007			
CFF G-3521	Réglementation : Directives de chargement Tome 1, CFF, Berne, 1er septembre 2018			



Directives des Off	ices des ponts et chaussées :				
OPC du canton de Zurich	, 3				
Union des transpo	orts publics :				
UTP R RTE 20012	Ouvrage de référence en matière de technique ferroviaire R RTE 20012, Profil d'espace libre Voie normale, UTP, Berne, 10 décembre 2012				
UTP D RTE 27900	Ouvrage de référence en matière de technique ferroviaire D RTE 27900, Manuel des conducteurs de retour de courant et des mises à terre, UTP, Berne, 1er juillet 2014				
Directives ESTI:					
ESTI 248	Directive n° 248, version 0415 f, Sécurité sismique de la distribution d'énergie électrique en Suisse, ESTI, Fehraltorf, 1er avril 2015				
ESTI_240_1199.f	O_1199.f Commentaires à propos de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI) du 30.03.1994, ESTI, Fehraltorf, 1er septembre 1999				
Publications de la	Suva :				
Suva 1903	Publication Valeurs limites d'exposition aux postes de travail, Suva, Lucerne, janvier 2018				
Divers :					
SN EN 50575	Câbles d'énergie, de commande et de communication - Câbles pour applications générales dans les ouvrages de construction soumis aux exigences de réaction au feu, 2017				
Aides à l'exécutio	Aides à l'exécution / Recommandations / Manuels :				
Exécution de l'ORNI	Lignes à haute tension, Aide à l'exécution de l'ORNI, OFEV, Berne, 2007				
Commentaires OLT 3+4	Commentaires sur les ordonnances 3 et 4 relatives à la Loi sur le travail (Protection de la santé, Approbation des plans), SECO, Berne, décembre 2018				
Modèle d'évaluation de l'OFEN	OFEN, Groupe de travail Remaniement du modèle d'évaluation (procédé PSE) : modèle d'évaluation des lignes de transport d'électricité, 28 février 2013				



Office fédéral de l'énergie OFEN

Annexe 1:

Fiches techniques sur les agencements de regroupement

Conditions cadres générales Électricité
Conditions causes generales Electricite

Source :

- [Gén-1] Ordonnance sur les installations électriques à courant fort du 30 mars 1994 (Ordonnance sur le courant fort ; RS 734.2)
- [Gén-2] Ordonnance sur les lignes électriques du 30 mars 1994 (OLEI; RS 734.31)
- [Gén-3] SN EN 13501-6, Classement au feu des produits et éléments de construction Partie 6 : Classement à partir des données d'essais de réaction au feu sur câbles électriques
- [Gén-4] SN EN 60332-3-24 : Essais des câbles électriques et des câbles à fibres optiques soumis au feu (Catégorie C)
- [Gén-5] SN EN 61034-1 et SN EN 61034-2 : Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles, appareillage d'essai (partie 1) + Procédure d'essai et exigences (partie 2)
- [Gén-6] SN EN 60754-1 et SN EN 60754-2 : Essai sur les gaz émis lors de la combustion des matériaux des câbles :
 - partie 1 : détermination de la quantité de gaz acide halogéné, partie 2 : détermination de la conductivité et de l'acidité (par mesure du ph)
- [Gén-7] Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (ORNI ; RS 814.710)
- [Gén-8] Lignes à haute tension : Aide à l'exécution de l'ORNI, OFEV 2007
- [Gén-9] Publication Suva 1903.f, Valeurs limites d'exposition aux postes de travail

Mise en œuvre de câbles à haute tension

En raison de la rigueur des contraintes, les câbles à haute tension > 50 kV employés en extérieur sont généralement dotés d'une gaine en HDPE (High Density Polyéthylène), qui présente de bonnes propriétés mécaniques et n'absorbe pas l'eau.

Pour les câbles à haute tension > 50 kV employés pour des applications en intérieur, on utilise des gaines ayant des propriétés FRNC conformément à la norme IEC 60332-3 (« Flame Retardant Non Chlorid » ou « Flame Retardant Non Corrosive »).

Contraintes constructives générales

Dispositions techniques concernant l'infrastructure de support

Source:

- [Gén-10] Fiche technique OFROU 23 001-12130 Câbles (V1.20), 01.01.2018
- [Gén-11] Fiche technique OFROU 23 001-12220 CEM (V1.00), 14.05.2010
- [Gén-12] Fiche technique OFROU 23 001-11710 Mise à terre et protection contre la foudre (V2.10), 01.01.2018
- [Gén-13] Fiche technique OFROU 23 001-11711 Mise à terre à ciel ouvert (V2.00), 07.12.2012
- [Gén-14] Fiche technique OFROU 23 001-11712 Mise à terre en tunnel (V2.00), 07.12.2012
- [Gén-15] DE-OCF pour les art. 16 33 OCF et les art. 42 46 OCF, en particulier l'art 44b de l'art. 44 OCF

Exigences techniques et structurelles

Comportement au feu des câbles

- Les installations de câblage mises en œuvre sur toutes les routes nationales (c'est-à-dire jusqu'à 50 kV) sont soumises aux exigences ci-après [A-10] :
 - Tronçons ouverts : ignifuge et sans halogènes (Fca)
 - Dans les tunnels > 100 m, les galeries techniques, les galeries de sécurité et les batteries de tubes, des câbles de classe Cca-s1,d1,a1 sont exigés.
 - o Si une galerie technique sert également de voie d'évacuation ou inversement, des câbles de classe B2ca-s1,d1,a1 doivent être utilisés.
- Pour les installations de câblage de l'infrastructure ferroviaire, les dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer DE-OCF relatives aux art. 44, art 44b, chiffre 4 concernant le comportement au feu des câbles s'appliquent. Les câbles situés dans des tunnels ou des endroits particuliers doivent présenter les caractéristiques suivantes [Gén-15]:
 - o faible inflammabilité,
 - propagation réduite du feu,
 - faible densité de fumée.
 - faible toxicité.

Valable pour tous les agencements et infrastructures de support Les câbles satisfont à ces critères s'ils respectent une des exigences définies dans l'art. 44b chiffre 4.1 [voir Gén-15]. La classe de limitation de propagation du feu requise peut également être atteinte grâce à une pose appropriée ou une protection adaptée des câbles. Les matériaux de gaines FRNC (Flame Retardant Non Corrosive) des câbles à haute tension satisfont au minimum à la classe de protection incendie E. La mise en œuvre de câbles à haute tension 380/220 kV n'étant jusqu'ici pas prévue dans l'exploitation ferroviaire et les installations de l'OFROU, dans le cas d'un projet concret les exigences détaillées de comportement au feu devront être clarifiées avec l'exploitant de l'infrastructure « support ». Les prescriptions de l'Ordonnance sur les lignes électriques doivent être pleinement respectées pour la pose de lignes câblées. Il s'agit essentiellement des Pose de lignes câblées directives de pose, des écarts prescrits en cas de tracé parallèle de plusieurs lignes câblées ou par rapport à d'autres installations, de la protection contre les interférences, de la prévention des influences des lignes, ainsi que de la protection incendie. Mise à la terre et compensation La mise à la terre doit être planifiée de telle façon que les exigences de protection des personnes et du matériel ainsi qu'un fonctionnement irréprochable des de potentiel installations électriques soient garantis en situation normale et de défaillance. La coordination de l'ensemble des besoins et exigences des partenaires individuels du regroupement nécessite un concept global de mise à la terre. La mise à la terre des ouvrages, des équipements et des installations ferroviaires implique la rencontre de différents systèmes dans le cadre du regroupement. En particulier en cas de regroupement avec une voie ferrée, un système de câbles parallèle sera également exposé au couplage électromagnétique par la ligne de retour de traction, ce qui nécessite un concept optimal de courant de retour de traction. La mise à la terre et la compensation de potentiel des systèmes de mise à la terre doivent être vérifiées au cas par cas. Chemin de fer : l'élaboration d'un concept global de mise à la terre suppose une coordination soigneuse entre tous les exploitants d'installations électriques. Route : pour assurer la compatibilité électromagnétique et la mise à la terre des nombreux éléments électromécaniques associés aux routes à grand débit, ainsi que la compensation de potentiel, un concept de protection intégral doit être élaboré. Compatibilité électromagnétique Sous réserve de difficultés extraordinaires, les lignes électriques doivent être construites, modifiées et entretenues de façon que, indépendamment de leur état et (CEM) leur charge, elles ne perturbent pas de manière inacceptable ni les installations à courant fort ou à courant faible ni les autres équipements électrotechniques, ces installations et ces équipements étant exploités conformément à leur destination. Selon le modèle d'influence, les mesures de réduction des interférences électromagnétiques suivantes sont possibles : Éviter l'apparition des facteurs de perturbation par des mesures directement à la source des interférences.

- Empêcher/atténuer la propagation des facteurs de perturbation par des mesures au niveau des voies de transmission.
- Améliorer la résistance aux perturbations et à la destruction du dispositif susceptible (dans la mesure du possible).
- Découpler les systèmes émetteurs et récepteurs des perturbations par partitionnement en plusieurs zones électromagnétiques.
- Mesures organisationnelles (éviter les opérations de commutation) quand on sait que des processus de commutation sont délibérément déclenchés.
- En cas de regroupement d'infrastructures, la ligne haute tension apparaît comme une source supplémentaire de perturbations CEM. Les mécanismes de couplage suivants entre une source de perturbations CEM (système de câbles de la ligne électrique) et des dispositifs susceptibles doivent être examinés et il convient de iustifier que les mécanismes CEM ci-après sont maîtrisés au sein des infrastructures regroupées (en distinguant systématiquement entre le fonctionnement normal et les situations de défaut, en particulier les défauts à la terre) :
 - Couplage galvanique
 - Couplage capacitif
 - Couplage inductif

Rayonnement non ionisant Usagers des transports et personnel exploitant

- En vertu des recommandations d'exécution de l'ORNI pour les lignes haute tension, la présence sur une route en tant qu'usager des transports répond à la définition d'un « lieu de séjour momentané » (LSM) [Gén-8]. Pour les lignes de transport d'électricité 50 Hertz, la valeur limite d'immissions de 100 µT doit être respectée [Gén-7]. Les chemins de fuite destinés aux usagers des transports ne sont pas considérés comme des LSM selon la définition de l'OFEV.
- Les collaborateurs du gestionnaire national du réseau (Swissgrid) ainsi que les personnes mandatées par celui-ci sont considérés comme du personnel exploitant et ne sont pas soumis à l'ORNI (art. 2 al. 2 let. a ORNI). Pour les travaux à proximité de la ligne de transport d'électricité des installations de câblage, la valeur de limite de 500 µT fixée par la Suva [Gén-9] doit être respectée pour cette catégorie de professionnels.
- Pour les autres catégories de personnel, par exemple celui de l'exploitant de l'infrastructure de support, il convient de respecter la valeur limite d'immissions plus stricte de 100 µT fixée dans l'ORNI [Gén-7].

Exigences relatives à l'exploitation

Règles d'exploitation

- L'exploitant de l'infrastructure de support et Swissgrid en tant que co-utilisateur doivent conclure un accord de partenariat et d'exploitation, dans lequel l'exploitation, la maintenance et l'entretien sont réglés d'égal à égal.
- En tant qu'exploitant, Swissgrid doit être en mesure d'assurer durablement l'entretien de ses installations à courant fort ainsi que leur nettoyage et leur contrôle régulier, ou bien de confier ces travaux à des tiers. Il en va de même pour l'exploitant de l'infrastructure de support. Des mesures de protection supplémentaires peuvent être nécessaire à la suite du regroupement.

Exigences relatives à l'entretien et à la maintenance

Planification et coordination entre l'exploitant de l'infrastructure de support et Swissgrid

- La planification des travaux de maintenance et d'entretien au sein du tronçon faisant l'objet d'un regroupement doit s'effectuer en commun et à la lumière des programmes individuels de préservation de la valeur et de maintenance, tout en tenant compte des différents cycles d'entretien. Des ajustements réciproques des cycles d'entretien peuvent être nécessaire pour synchroniser les travaux d'entretien.
- Il faut tenir compte des délais de mise en œuvre à respecter, par exemple concernant la planification annuelle des désactivations de Swissgrid ou la déclaration des fermetures de tronçons si l'accès est uniquement possible par le rail.

Travaux à proximité de câbles haute tension

• Pour les travaux à proximité de câbles à haute tension, il convient d'élaborer un concept de sécurité du travail spécifique au projet. Celui-ci doit définir entre autres dans quelles conditions l'exploitant de l'infrastructure de support a le droit d'intervenir sur ses propres câbles d'énergie/de processus désactivés, lorsque la ligne haute tension est active en parallèle.

À régler pour le déroulement

- Responsabilités et interfaces pour l'évaluation de l'état et l'exécution des travaux de maintenance et d'entretien des infrastructures respectives.
- Prestations de services prises en charge par l'exploitant de l'infrastructure de support, ainsi que les indemnisations correspondantes, p. ex. :
 - o accès par les rails, fourniture et mise à disposition de véhicules d'entretien et de traction appropriés pour l'agencement B-chemin de fer
 - o travaux d'entretien des dispositifs techniques secondaires de la ligne de transport d'électricité, tels que les systèmes de ventilation, l'éclairage, etc.

Mise en place d'une organisation de sécurité supérieure

• Élaboration de plans de gestion des incidents, définissant la conduite à adopter en cas de panne/dégâts/événement majeur sur l'une ou l'autre des infrastructures.

Mesures possibles

• sur le plan structurel

Compatibilité électromagnétique :

- Séparation des émissions perturbatrices / Résistance aux perturbations par des espaces physiques (écarts) et/ou d'autres procédés d'atténuation électromagnétique (blindages).
- Détermination de valeurs limites de CEM admissibles sous la forme d'un plan de zonage CEM, qui peut par exemple se présenter comme suit :
 - o Zone 0 : protection extérieure contre la foudre, système d'électrodes de mise à la terre
 - o Zone 1 : blindage de l'armature
 - o Zone 2 : blindage du local
 - Zone 3 : blindage des équipements de l'installation
 - Zone 4: installations sensibles
- Couplage galvanique : le conducteur d'équipotentialité de terre est généralement croisé au centre du système de câbles (agencement géométrique selon le type de pose du système de câbles). Section minimum équivalente à celle du blindage du câble.

sur le plan procédural

Compatibilité électromagnétique :

- Couplage capacitif : simulation des défauts dans une étude de surtension pour démontrer que les tensions de pas et de contact applicables, ainsi que les niveaux de perturbation des récepteurs sont respectés conformément aux normes CE.
- Étude CEM globale incluant entre autres l'étude des tensions d'éclair et des surtensions en tenant compte des courants de court-circuit maximums : simulation des défauts pour démontrer que les tensions de pas et de contact applicables et les niveaux de perturbation autorisés ne sont pas dépassés.

Mise à la terre et compensation de potentiel - Route :

- Les mesures nécessaires contre les influences réciproques indues entre les systèmes de mise à la terre au sens de l'art. 8 OLEI doivent faire l'objet d'une concertation entre les exploitants des infrastructures de la ligne de transport d'électricité et l'OFROU.
- En complément des prescriptions de mise à la terre des installations électriques figurant dans l'ordonnance sur les installations à courant fort et l'ordonnance sur les lignes électriques, celles du manuel technique de l'OFROU sur les équipements d'exploitation et de sécurité s'appliquent également aux ouvrages et installations des routes nationales.

Mise à la terre et compensation de potentiel - Chemin de fer :

• Les mesures nécessaires contre les influences réciproques indues entre les systèmes de mise à la terre au sens de l'art. 8 OLEI et de l'art. DE 44.d de la DE-OCF doivent faire l'objet d'une concertation entre les exploitants des infrastructures de la ligne électrique et de ligne ferroviaire concernée. Pour les installations ferroviaires, les directives de mise à la terre de la DE-OCF s'appliquent.

sur le plan organisationnel

Règles d'exploitation recommandées entre l'exploitant de l'infrastructure de support et Swissgrid :

- Responsabilités et obligations des deux parties et indemnisation
- Flux et échange d'informations
- Accès à la partie de l'installation de l'exploitant du réseau de la ligne haute tension via l'espace de circulation ou avec des moyens de transport spéciaux (chemin de fer)
- Accès à la partie de l'installation de l'exploitant du réseau de la ligne haute tension si celle-ci n'est pas ouvertement accessible (galerie technique dédiée)
- Règles de déroulement de la maintenance et de l'entretien
- · Règles de surveillance en mode de fonctionnement normal
- Règles de transmission des alarmes
- Plans d'action pour la gestion des incidents
- Plans d'action pour la remise en service

Attestations et clarifications spécifiques aux projets

Pose de lignes câblées

Les attestations suivantes doivent être fournies dans le périmètre du regroupement :

- Les prescriptions de l'Ordonnance sur les lignes électriques (OLEI), notamment les articles 7, 8 et 9, sont respectées dans tous les états de fonctionnement et cas de défaut de la ligne câblée.
- Des mesures sont prises conformément à l'art. 95 OLEI afin d'éviter la mise en danger réciproque de personnes ou d'objets en cas de pose parallèle ou de croisement de la ligne de transport d'électricité avec d'autres lignes câblées.

Compatibilité électromagnétique (CEM)

- L'ensemble des phénomènes de CEM, pouvant être provoqués par les états de fonctionnement et les défauts potentiels de l'installation de câblage de la ligne de transport d'électricité et susceptibles d'avoir des effets inacceptables sur l'infrastructure de la route nationale ou du chemin de fer, ainsi que les éventuels phénomènes de CEM pouvant être transmis aux infrastructures de l'extérieur par la ligne de transport d'électricité doivent être déterminés.
- Les valeurs limites de CEM admissibles dans la zone d'influence CEM de la ligne de transport d'électricité doivent être définies.
- Des mesures de respect des valeurs limites de CEM dans la zone d'influence de la ligne de transport d'électricité doivent être définies. Tous les états de fonctionnement et défauts potentiels de la ligne de transport d'électricité doivent être vérifiés.

Mise à la terre et compensation de potentiel

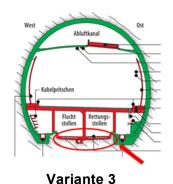
Un concept de mise à la terre coordonné et spécifique au projet doit démontrer et justifier que :

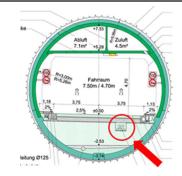
- la disponibilité et la sécurité de toutes les installations électriques sont garanties à tout moment et en toute situation de fonctionnement ou de défaut, et que la compatibilité électromagnétique est conforme aux dispositions légales applicables ;
- les directives de mise à la terre des installations électriques sont respectées conformément à l'ordonnance sur les installations à courant fort.

<u>Variantes</u>	Bildsichtung Süden Seite Siste Asüdhand Panentstreifen 3-36 Goschenen 3-80 WEX.	Ablufikanal Ablufikanal	West Abluftkanal Ost Kabelpritschen Flucht Rettungs- stollen	Abut 17.33 Abut 2.50 Abut 4.5m Abut 4.5m Abut 2.5m Abut 2.5m Abut 3.75 Abut
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Conditions-cadres fixées	s par l'infrastructure de suppor	<u>t</u>		
Intégration de l'installation de câblage à l'ouvrage	Câbles posés de manière ouverte dans une galerie accessible (galerie technique)	Câbles dans une batterie de tubes logée sous la chaussée, parallèlement à une galerie accessible (galerie technique)	Câbles dans une batterie de tubes logée dans le radier d'une galerie accessible (galerie technique)	Dans une batterie de tubes logée sous la chaussée
Emplacement des raccords à manchons	Pose ouverte contre le mur de la gale- rie technique	Pose ouverte contre le mur de la galerie technique	Pose ouverte contre le mur dans une galerie technique avec chemin de fuite	Dans des chambres de jonction sous les élargissements d'arrêt
Caractéristique de l'agencement	Le trafic et la ligne électrique sont séparés spatialement			Le trafic et la ligne électrique ne sont pas séparés spatialement
Influence réciproque en cas d'incident	Dégâts sur la ligne électrique peu probables en cas d'incendie dans le tunnel (faible exposition aux effets thermiques). Une désactivation préventive est cependant probable. En cas de court-circuit sur la ligne électrique avec explosion (au niveau des manchons), dans le pire des cas des dégâts sont possibles sur l'infrastructure de support et les installations électrotechniques de la galerie technique. L'espace de circulation n'est guère affecté. La réparation non planifiée nécessite de la place des degâts sont possibles sur l'infrastructure de support et les installations électrotechniques de la galerie technique. L'espace de des dégâts sont possibles sur l'infrastructure de support et les installations électrotechniques de la galerie technique. Le tunnel doit être fermé dès lors que la voie d'évacuation n'est plus fonctionnelle.		Dégradation / désactivation de la ligne électrique via le monitoring de tempéra- ture possible en cas d'incendie dans le tunnel (effets thermiques).	
			En cas de court-circuit sur la ligne électrique avec explosion (au niveau des manchons), dans le pire des cas des dégâts sont possibles sur l'infrastructure de support et les instal- lations électrotechniques du tunnel.	
Influences réciproques lors de l'entretien	Travaux d'entretien sur des lignes parallèles : - Désactivation de la ligne de transport d'électricité probablement nécessaire pour des raisons de sécurité (un organigramme décisionnel spécifique à l'installation doit être élaboré et appliqué).			

Variantes Variante 1







Variante 4

Équipements de tunnel pour

l'autosauvetage des usagers

des transports

Contraintes constructive	<u>is</u>
Dispositions techniques concer-	Source :
nant l'infrastructure de support	[A-1] Norme SIA 197 : Projet de tunnels, bases générales
	[A-2] Norme SIA 197/2 : Projet de tunnels – Tunnels routiers
	[A-3] Manuel technique OFROU 24 000 Tunnels / Géotechnique, notamment
	 Fiche technique 24 001-10404 Galerie technique (V2.03) du 01.01.2015 [A-3a]
	 Fiche technique 24 001-10706 Galeries transversales piétonnes (V2.03) du 01.01.2015 [A-3b]
	 Fiche technique 24 001-10707 Galeries de sécurité, galeries de fuite (V2.03) du 01.01.2015 [A-3c]
	[A-4] Manuel technique OFROU 23 000 Équipements d'exploitation et de sécurité, notamment
	 Fiche technique 23 001-11350 Ventilation des galeries de sécurité (V1.10) du 01.01.2018 [A4a]
	[A-5] Directive OFROU 13002 « Ventilation de galeries de sécurité des tunnels routiers »
Dispositions techniques concer-	Source :
nant les lignes électriques	[A-6] Ordonnance sur les installations électriques à courant fort du 30 mars 1994 (Ordonnance sur le courant fort ; RS 734.2)
	[A-7] Ordonnance sur les lignes électriques du 30 mars 1994 (OLEI ; RS 734.31)
	[A-8] Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (ORNI ; RS 814.710)
	[A-9] Lignes haute tension : Aide à l'exécution de l'ORNI, OFEV 2007

[A-10] Publication SUVA 1903.f, Valeurs limites d'exposition aux postes de travail Autosauvetage dans un tunnel à deux tubes par l'intermédiaire des liaisons trans-

versales [A-2] – La ligne de transport d'électricité ne se situe pas dans le péri-

mètre du chemin de fuite.

Autosauvetage dans un tunnel à un seul tube [A2]

- par une galerie de sécurité
- par une galerie technique

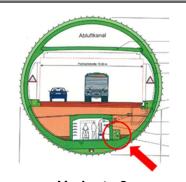
La ligne de transport d'électricité se situe dans le périmètre du chemin de

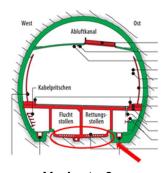
Autosauvetage dans un tunnel à deux tubes par l'intermédiaire des liaisons transversales – La ligne de transport d'électricité ne se situe pas dans le périmètre du chemin de fuite.

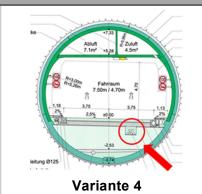
Variantes	Sele Sisto Sele Sisto Asultana Panenshelm Sele Sisto Variante 1	Variante 2	West Abbuftkanal Ost Kabelpritschen Flucht stollen stollen Variante 3	Abluft 7.1m 5.2s 2.2unt 4.5m 2	
Dimensions constructives	La hauteur sous plafond de la galerie tec Pour une galerie technique selon les star Dimensions minimales des couloirs et de - couloirs de service pour les installation	-			
Accès à la galerie technique	Accès à la galerie technique via les portails : À l'intérieur du tunnel via des ouvrages avec cages d'escaliers [A-2] : - au niveau des aires d'arrêt d'urgence (tous les 600 - 900 m dans les tunnels à un tube) - au niveau des liaisons transversales (tous les 900 m dans les tunnels à deux tubes) Galerie technique servant de voie d'évacuation : Ouvrages de sortie de secours tous les 300 – 500 m			-	
Logistiques des câbles	Tirage des câbles dans une galerie technique à partir des aires d'arrêt d'urgence du tunnel Tirage des câbles dans une batterie de tubes depuis les portails ou via des chambres de tirage de câbles dans les aires d'arrêt d'urgence ou depuis la galerie technique. Tirage des câbles dans une batterie de tubes depuis les portails ou la galerie technique.			Tirage des câbles dans une batterie de tubes à partir des élargissements d'arrêt du tunnel	
Exigences constructives					
Position et agencement des câbles	Dans la galerie technique pour la ligne de transport d'électricité, les câbles doivent être posés de manière à respecter Ia valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique de l'ORNI dans l'espace de circulation, la valeur limite de densité de flux magnétique sur le lieu de travail définie par la Suva dans le couloir de la galerie technique de la ligne de transport d'électricité.	Dans la galerie technique, les câbles doivent être posés de manière à respecter • la valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique de l'ORNI dans l'espace de circulation et dans le couloir de la galerie technique (lors de l'entretien par le personnel exploitant de l'infrastructure de support).	Dans la galerie technique, la batterie de tubes doit être posée de manière à respecter • la valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique de l'ORNI dans le couloir (lors de l'entretien par le personnel exploitant de l'infrastructure de support). En cas de pose ouverte de raccords à manchons contre le mur, l'écart par rapport au couloir doit de même être respecté.	La batterie de tubes doit être posée suffisamment profond, afin de • respecter la valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique de l'ORNI dans l'espace de circulation, • ne pas gêner une future réfection de la chaussée.	

	<u> </u>			
<u>Variantes</u>	Variante 1	Variante 2	West Abbuftkanal Ost Abbuftkanal Ost Kabelpritschen Flucht stollen stollen Variante 3	Abbut 7,100
Accès et départs de chemin de fuite dans la galerie technique	Les exigences applicables découlent des	-		
Compartiments coupe-feu	La nécessité d'un compartimentage cou sur la base d'une identification des dange Une éventuelle formation de compa d'accompagnement, comme des détecteurs de fumée/chaleur, une commande tronçon par tronçon	-		
Agencement et protection des raccords à manchons	Les raccords à manchons doivent si possible être placés de façon à ce qu'en cas d'incident au niveau du manchon (incendie / explosion), celui-ci entraîne un minimum de dégâts sur l'infrastructure de support et ses installations électriques. Comme à gauche, mais en plus : protéger les raccords à manchons vers la zone accessible. Dans une galerie technique carrossable, ils doivent être protégés contre les chocs.			Comme à gauche, mais en plus : Les chambres de jonction doivent être sécurisées de façon à circonscrire les effets en cas d'incident.
Protection des lignes câblées contre les dommages	Dans les galeries carrossables, prévoir des systèmes de retenue qui garantissent en même temps les distances de sécurité.			-

Variantes Bioining Subm Seles Sistes Asi, Planet Panners Sistes Asi, Planet Panners Sistes Asi, Planet Asi, Planet







Variante 1

Variante 2

Variante 3

Gabarit de la galerie technique

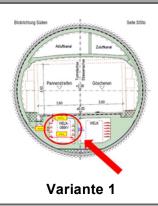
Dans une galerie technique, le gabarit se définit comme suit, installation de câblage y comprise

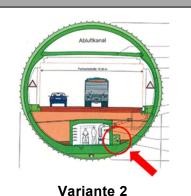
		Variante 1	Variante 2	Variante 3
Hau	uteur utile			
Gabarit du couloir / chemin de fuite		H = min. 2,0 m [A-3a], [A-2] en dehors des croisements de conduites		H = min. 2,2 m [A-3b], [A-3c]
Lar	geur utile			
(1)	Gabarit du couloir / chemin de fuite	B = min.1,0 m [A-2] à 1,5 m [A-3a]		B = min. 1,5 m [A-3b/A3-c]
(2)	Espace utile pour les éléments techniques de câblage (câbles, raccords à manchons)	À définir spécifiquement à chaque projet		
(3)	Distance de sécurité supplémentaire	pour respecter la valeur limite de densité de flux magnétique sur le lieu de travail définie par la Suva pour respecter la valeur limite d'immission de la densit flux magnétique définie dans l'ORNI		

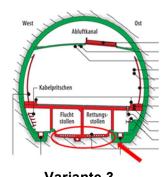
L'espace utile pour les éléments techniques de câblage (2) devrait si possible être dimensionné de façon à permettre l'intégration de raccords à manchons supplémentaires visant à réparer les dommages subis par les câbles ainsi qu'une exécution sans risque des travaux de remise en état (respect de la distance de sécurité par rapport à un câble en exploitation, pas de risque de dégâts).

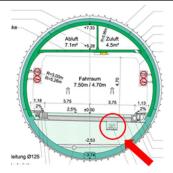
En cas d'accès latéraux, les câbles doivent être repositionnés. Si les distances de sécurité verticales sont insuffisantes, des mesures structurelles doivent être prises.

Variantes









Variante 3

Variante 4

Logistiques des câbles

- Pour la livraison des bobines de câble, un accès durable et suffisant aux emplacements de tirage des câbles doit être garanti. Il convient notamment de veiller à leur compatibilité avec des véhicules spéciaux et des charges exceptionnelles.
- La pose de câbles dans la galerie technique nécessite une logistique minutieuse (procédé, machines et équipements), adaptée aux forces de traction des câbles admissibles.
- En cas de tirage des câbles depuis l'espace de circulation, des chambres et des gaines de tirage de câbles doivent être aménagées jusqu'à la galerie technique dans les élargissements d'arrêt. Afin de prévoir suffisamment d'espace, il est important de tenir compte des dimensions des véhicules, de la bobine de câble qui se déroule perpendiculairement au sens de circulation pour les longueurs > 560 m et des rayons de courbure de 3,5 m minimum à respecter lors de la pose du câble

Comme à gauche, mais en plus :

La longueur de câble, l'intervalle entre les élargissements d'arrêt accueillant les chambres de tirage. les dimensions des élargissed'arrêt, ments ainsi l'agencement et l'orientation des chambres de tirage doivent être coordonnés entre eux lors de la planification.

Exigences techniques:

Ventilation

Dans les cas suivants, la galerie technique nécessite une ventilation indépendante de l'espace de circulation :

- a) Légère surpression contre l'intrusion de gaz/poussière afin d'éviter toute contamination (dans le cas d'une galerie technique sans exigences d'étanchéité)
- b) Ventilation permanente ou purge avant inspection, pour générer un climat de travail (température) acceptable pour la santé
- Évacuation de la chaleur pour garantir la capacité de transport de courant en charge maximale
- d) En cas de fonction simultanée de galerie de sécurité : garantie d'absence de fumée et de substances nocives en cas d'incident (augmentation de la sur-

L'installation de ventilation doit être configurée de façon à satisfaire aux exigences maximales.

Les exigences structurelles (p. ex. besoin de place pour des armoires de commande) et les interfaces techniques avec le système de ventilation de l'espace de circulation doivent être clarifiées et définies dès le stade de la conception.

La galerie technique est ventilée en permanence: la ventilation est dimensionnée en vertu des prescriptions définies en [A-5]

Mesures possibles

rumer – agencement A. variantes pour rimitastructure de support Route					
Variantes	Sele SSIo Sele SSIo Variante 1	Variante 2	West Abluftkanal Ost Kabelpritschen Flucht stollen stollen Variante 3	Abhit 7.1m² -628 2 Zuluft 7.5m² -628 3.75 2.55 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3	
		de la dencité de fluy magnétique définie	dens l'ODNI eu la valour limite d'avracition	a su poete de travail fivée per la Cuya :	
sur le plan structurel	Pour respecter la valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique définie dans l'ORNI ou la valeur limite d'exposition au poste de travail fixée par la Suva : Réduction ou compensation de champ magnétique (compensation active) Blindage passif de champ magnétique (plaques spéciales en aluminium) Marquages au sol ou délimitations pour assurer la distance de sécurité nécessaire par rapport aux câbles et aux manchons				
	Pose du système de câbles (ligne électrique) dans un seconde gale- rie technique parallèle, disposant de son propre compartiment coupe-feu.	-	-	-	
	Examen et création d'accès et de dép taires en fonction de leur rapport coû	parts de chemin de fuite supplémen- l/efficacité.	-	-	
	Subdivision en compartiments coupe- tible avec les autres exigences).	feu (dans la mesure où cela est compa-	-		
	Le déplacement des conduites peut é latéraux d'un seul côté de la gaine et	tre évité en positionnant les accès le tracé du câble du côté opposé.	-	-	
	 Encapsulation des raccords à manchons Séparation constructive des chambre çonnerie. Protection contre les chocs / glissière Protéger les chambres à l'aide de contre les chambres à l'aide	Protéger les chambres à l'aide de couvercles sécurisés à remplis- sage de sable.			
sur le plan procédural	 Identification des dangers et planification de mesures concernant les risques d'accidents et les risques pour la santé selon leur efficacité et leur coût Élaboration d'un concept d'exploitation et de sauvetage pour les galeries techniques / de sécurité 			-	
	Élaboration d'un concept de protection				
sur le plan matériel	Possibilité d'équiper les galeries techniques de dispositifs de sécurité Système radio Caméras de surveillance			-	

Variantes	Bickichtung Süden Seite Siste Alufhand Duffiser Paneersylefien 3-30 Oscionen Variante 1	Variante 2	West Abluftkanal Ost Kabelpritschen Flucht Stollen Stollen Stollen Stollen	About 7,533 7 2 July 1 July 1 2 July 1 July 1 2 July 1 July 1 2 July 1 Jul
	 Déclenchement d'alarme Matériel de secours en cas d'accide Extincteur portatif Postes d'extinction d'incendie 			
	Inspection des galeries de sécurité avec un équipement de protection Appareils de mesure (O ₂ , CO, méthane, etc.) Dispositif d'autosauvetage (appareil respiratoire) Vêtements de protection résistant aux arcs électriques			-
sur le plan organisationnel	Inspections de galeries techniques : Pas d'inspection par une personne s Inspections effectuées par le person Informer de l'accès en cas d'inspect		La gaine est opérationnelle en permanence.	-
	Désactivation partielle ou totale du système de lignes au moment de l'inspection pour réduire les émissions de RNI.			-

Climat ambiant dans la galerie

Agencement et protection des

raccords à manchons Logistiques des câbles

technique

Tunnel – agencement A: variantes pour l'infrastructure de support Route

projet en tenant compte du rapport coûts-avantages.

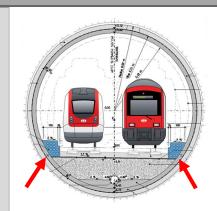
Variantes leitung Ø125 Variante 4 Variante 2 Variante 3 Variante 1 Attestations et clarifications spécifiques aux projets Attestation que la valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique de 100 µT de l'ORNI est respectée pour les usagers des transports. Position et agencement des câbles Attestation du respect de la valeur limite de densité de flux magnétique de 500 µT de la Suva dans les endroits auxquels seul le personnel d'exploitation du ges-Position et agencement des tionnaire national du réseau a accès. câbles au sein de la galerie technique Attestation que la valeur limite d'immission de la densité de flux magnétique de 100 µT de l'ORNI est respectée dans les endroits accessibles au personnel exploitant de l'infrastructure de support. La distance de sécurité doit être définie pour chaque projet en déterminant les champs magnétiques pour le courant thermique limite. Au niveau des départs latéraux de chemin de fuite, le tracé de lignes électriques doit être défini dans le cadre du projet concret. Évacuation de la chaleur Attestation que l'agencement satisfait aux exigences de l'installation de câblage (capacité de transport de courant).

La préservation d'un climat de travail acceptable pour la santé doit être justifiée pour la galerie technique prévue dans le projet.

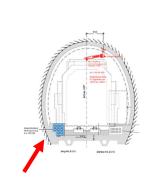
Définition de l'accès et de l'espace requis par la logistique des câbles en tenant compte du rapport coûts-avantages.

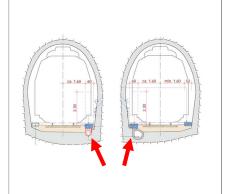
Les mesures constructives visant à respecter les objectifs de sécurité des installations et des personnes doivent être déterminées spécifiquement pour chaque

Variantes



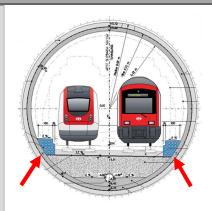




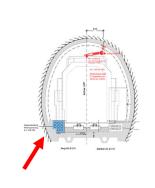


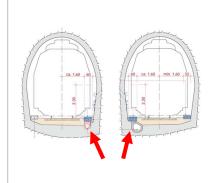
Conditions-cadres fixées	s par l'infrastructure de support		
Taille du tunnel	Tunnel à deux voies Tunnel à voie unique	voies Tunnel à voie unique	
Profil du tunnel (méthode de percement)	Profil circulaire (percement par tunnelier) Profil en fer à cheval (percement par forage/dynamitage) – avec ou sans radier contre voûté, en fonction des conditions géologiques		
Voie de roulement de l'infrastructure ferroviaire	Voie de roulement rigide en béton : généralement dans les nouveaux tunnels de grande longueur Superstructure ballastée (égalemer valable pour les tunnels à deux voie généralement dans les tunnels anciet courts, y compris après rénovation		
Intégration de l'installation de câblage à l'ouvrage	Pose des câbles dans le bloc de câbles : Les batterie de tubes sont logées dans les deux accotements latéraux, reliées de manière monolithique à la coque porteuse et à la dalle de roulement.	Pose des câbles dans la batterie de tubes : La batterie de tubes est intégrée au lit de ballast de manière « flottante »	
Câblage dans les accotements	Toutes les tensions dans le même accotement : basse tension au-dessus et haute tension en-dessous Tensions dans des accotements distincts : • haute tension d'un côté de la voie • basse tension de l'autre côté de la voie		
Emplacement des raccords à manchons	Les raccords à manchons doivent être logés dans des niches du tunnel ferroviaire.		
Caractéristique de l'agencement	Le trafic et la ligne électrique ne sont pas séparés spatialement.		
Influence réciproque en cas d'incident	En cas d'accident ferroviaire (choc / collision) et d'incendie, la ligne électrique doit être interrompue pour des raisons de sécurité durant les opérations de sauvetage et de réparation. Une dégradation de la ligne électrique (influences mécaniques et thermiques) est possible. En cas d'incendie, la ligne électrique est désactivée par le monitoring de température. En cas de court-circuit dans la ligne électrique, dans le pire des cas des dégâts localisés sont possibles sur l'infrastructure de support (accotement, câbles avoisinants). Une batterie de tubes solide ne sera pas détruite. En cas de défaillance d'un manchon, des parties de ce dernier peuvent être projetées et endommager la niche de jonction. Une bonne encapsulation permet d'en limiter les effets à la batterie de tubes / à la niche de jonction. Une porte peut éventuellement être projetée.		

<u>Variantes</u>









Influences réciproques lors de l'entretien

Rénovation des rails et des fondations :

- une désactivation de l'installation de câblage peut s'avérer nécessaire, mais doit être évaluée au cas par cas. Travaux d'entretien sur des lignes parallèles :
- désactivation de l'installation de câblage nécessaire pour des raisons de sécurité (application d'un organigramme décisionnel spécifique au projet).

Comme à gauche :

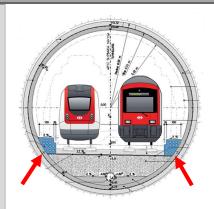
Si les câbles sont intégrés au lit de ballast, une désactivation de l'installation de câblage pourra aussi s'avérer nécessaire lors du bourrage de la voie.

Contraintes constructives

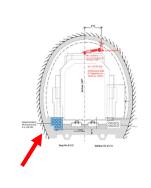
Dispositions techniques concernant l'infrastructure de support	Source : [B-1] Norme SIA 197 : Projet de tunnels, bases générales [B-2] Norme SIA 197/1 : Projet de tunnels – Tunnels ferroviaires [B-3] Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF) [B-4] Réglementation I-20036 des CFF : Mesures d'autosauvetage dans les tunnels - mesures d'infrastructure visant à faciliter l'autosauvetage dans les tunnels		
Dispositions techniques concer- nant les lignes électriques	Source : [B-5] Ordonnance sur les installations électriques à courant fort du 30 mars 1994 (Ordonnance sur le courant fort ; RS 734.2) [B-6] Ordonnance sur les lignes électriques du 30 mars 1994 (OLEI ; RS 734.31) [B-7] Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (ORNI ; RS 814.710) [B-8] Lignes haute tension : Aide à l'exécution de l'ORNI, OFEV 2007		
Équipements de tunnel pour l'autosauvetage des usagers des transports	Voies piétonnières sur les deux côtés permettant de rejoindre une sortie de secours pour évacuer le tunnel. Dans les tunnels récents, voie piétonnière sur un des accotements. Dans les tunnels récents, voie piétonnière sur un des accotements.		cuer le tunnel.
Dimensions constructives	Tunnel à deux voies : Ø extérieur du tunnel = env. 12 – 14 m : surface totale disponible par accotement pour une batterie de tubes : 1,0 m² à 1,2 m²		Tunnel existant : section de tunnel souvent limitée (gabarit OCF4 / S3), qui n'augmente guère en cas de rénovation Surface disponible pour une batterie de tubes env. 0,2 m²

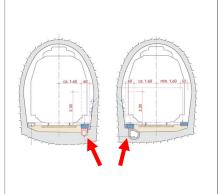
Variantes Les emplacements de tirage et de montage (chambres à câbles) se situent dans le tunnel : Logistique des câbles Montage initial au stade du gros-œuvre depuis la plate-forme : accès possible avec des véhicules sur pneus, avant la mise en place des traverses en béton et des rails. Travaux d'entretien : accès uniquement possible à l'aide de véhicules ferroviaires. **Exigences constructives** Position et agencement des Les câbles à haute tension doivent être disposés dans la batterie de tubes de façon à ce que la valeur limite de l'ORNI pour un séjour momentané (LSM) soit respectée dans l'espace de circulation [B-7, B-8]. câbles Si possible, les câbles à haute tension doivent être posés dans des batteries de tubes distinctes, séparément des câbles à basse tension et des câbles de commande et à courant faible [B-6]. Ils doivent présenter un écart de 1,3 m par rapport au rail extérieur [B-6]. Des exceptions sont possibles si les conditions de l'art. 99 al. 5 de [B-6] sont vérifiées. Évacuation de la chaleur L'évacuation de la chaleur des câbles en charge maximale doit être assurée par un lit de pose approprié ou, si nécessaire, par des conduites de refroidissement. Agencement et protection des Les raccords à manchons doivent être placés dans des chambres de jonction situées dans des niches latérales du tunnel. raccords à manchons Si possible, ils doivent être placés de façon à ce qu'en cas d'incident au niveau du manchon (incendie / explosion), celui-ci entraîne un minimum de dégâts sur l'infrastructure de support et ses installations électriques et n'affecte pas les usagers des transports. Les chambres de jonction et niches de tunnel doivent être sécurisées de facon à circonscrire les effets en cas d'incident. Les longueurs de câble, l'agencement des raccords à manchon et les possibilités de pose doivent être définis en fonction des contraintes d'accès au tunnel ferro-Logistique des câbles viaire (logistique, horaires). Les lignes câblées doivent si possible être posées de façon à être exposées le moins possible en cas de choc dû à un déraillement et à ses conséquences, ou Protection des lignes électriques bien elles doivent faire l'objet de mesures de protection spéciales. contre les dommages

Variantes









Mesures possibles

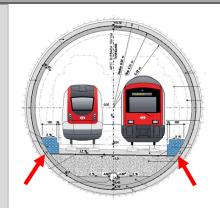
• sur le plan structurel

- Lit de pose de l'accotement : béton à bonne conductivité thermique (min. 1 W/K*m, avec du béton spécial jusqu'à 4 W/K*m possible)
 - Intégration de conduites de refroidissement dans la batterie de tubes pour garantir la capacité de transport de courant nécessaire.
- Agencer si possible les chambres de tirage de câbles et les tubes de tirage dans le sens de déroulement de la bobine de câble.
- Séparation constructive des chambres/niches de jonction et de l'espace de circulation par une paroi en béton ou en maçonnerie.
- Chambres de jonction dotées de couvercles sécurisés à remplissage de sable.
- Positionner le système de câbles en partie inférieure de l'accotement.
- Recouvrir les tuyaux de protection des câbles d'au moins 10 cm de béton
- Effectuer la pose dans des tubes vides résistants.
- Renforcer l'accotement contre les chocs à l'aide d'une armature ou de plaques de protection (attention au risque de court-circuit magnétique, voir [B-2], chiffre 8.5.3.4)
- Intégrer des garde-fous empêchant les véhicules ferroviaires de dévier des voies en cas de déraillement (uniquement adapté aux vitesses réduites et moyennes, voir DE-OCF de la DE 26.2). D'autres mesures sont à privilégier.

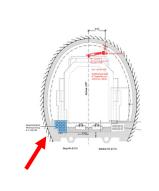
Variantes

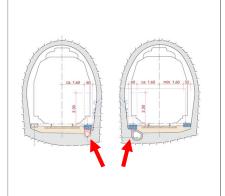
Logistique des câbles

contre les dommages







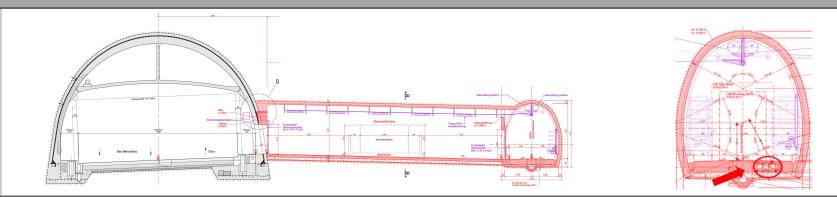


Attestations et clarifications spécifiques aux projets

Position et agencement des câbles	•	 Attestation du respect de la valeur limite d'immission de 100 μT fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique pour les passagers des trains. Et ce, y compris pour les emplacements accessibles par le personnel exploitant de l'infrastructure de support (voies piétonnières). 	
Évacuation de la chaleur	• Attestation que l'agencement satisfait aux exigences de l'installation de câblage (capacité de transport de courant).		
Agencement et protection des	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		

Définition de l'accès et de l'espace requis par la logistique des câbles en tenant compte du rapport coûts-avantages.

Dimensionnement des accotements en fonction des forces de choc exceptionnelles Q_{dv} d'après les DE-OCF, Annexe n° 1, et définition d'autres mesures de pro-Protection des lignes électriques tection contre les chocs en tenant compte du rapport coûts-avantages.



Conditions-cadres fixées par l'infrastructure de support

Intégration de l'installation de câblage à l'ouvrage	Variantes : Câbles dans une batterie de tubes logée dans le radier de la galerie de sécurité	
	Câbles posés de manière ouverte sur un mur de la galerie de sécurité	
Emplacement des raccords à	Variantes :	
manchons	Raccords à manchons dans des chambres de jonction, dans le radier de la galerie de sécurité	
	Raccords à manchons posés de manière ouverte sur un mur de la galerie de sécurité	
Caractéristique de l'agencement	Le trafic et la ligne électrique sont séparés spatialement	
Influence réciproque en cas d'incident	Aucun risque de dommages à la ligne électrique en cas d'incendie dans le tunnel (galerie de sécurité = lieu sûr, séparation du tunnel par des barrières dans la liaison transversale). Une désactivation devra toutefois s'effectuer en présence de personnes en fuite (RNI).	
	En cas de court-circuit sur la ligne électrique avec explosion (au niveau des manchons), dans le pire des cas des dégâts sont possibles sur l'infrastructure de support et les installations électrotechniques de la galerie de sécurité. Des parties de l'infrastructure peuvent être projetées et mettre en danger des tiers. Le tunnel doit être fermé dès lors que la voie d'évacuation n'est plus fonctionnelle.	
Influence réciproque lors de l'entretien	Travaux d'entretien sur des lignes parallèles : - Désactivation de la ligne de transport d'électricité nécessaire pour des raisons de sécurité si la ligne parallèle se trouve dans la galerie de sécurité (un organi- gramme décisionnel spécifique à l'installation doit être élaboré et appliqué).	

Contraintes constructives

Dispositions techniques concernant l'infrastructure de support

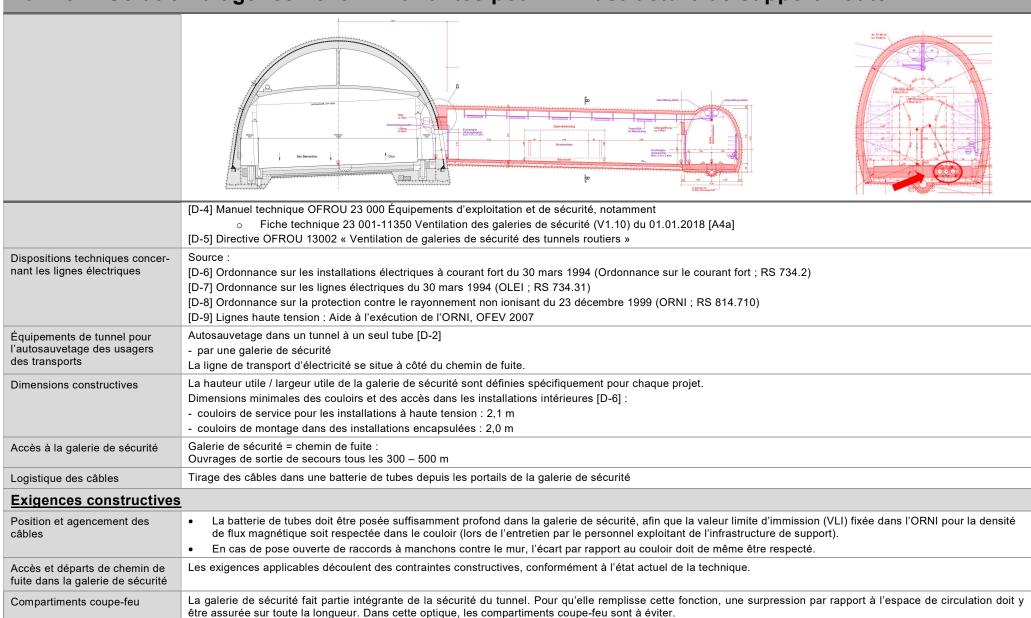
Source

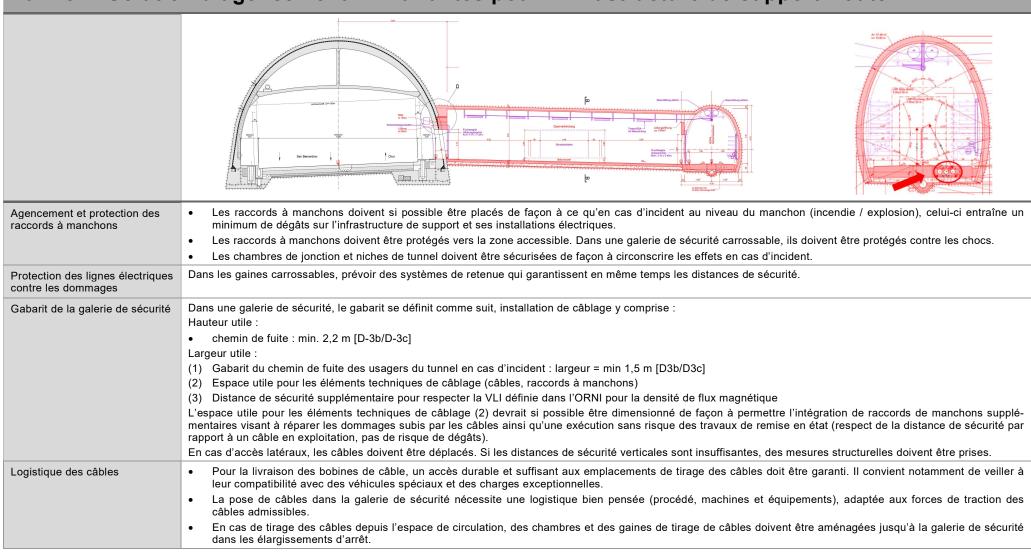
[D-1] Norme SIA 197 : Projet de tunnels, bases générales

[D-2] Norme SIA 197/2 : Projet de tunnels – Tunnels routiers

[D-3] Manuel technique OFROU 24 000 Tunnels / Géotechnique, notamment

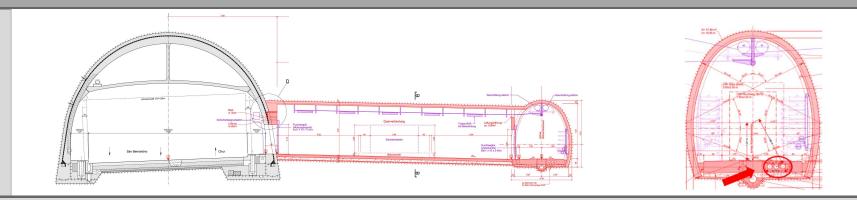
- Fiche technique 24 001-10404 Galerie technique (V2.03) du 01.01.2015 [D-3a]
- Fiche technique 24 001-10706 Galeries transversales piétonnes (V2.03) du 01.01.2015 [D-3b]
- Fiche technique 24 001-10707 Galeries de sécurité, galeries de fuite (V2.03) du 01.01.2015 [D-3c]





Inspections de galeries de sécurité :

Tunnel – Solution d'agencement D : variantes pour l'infrastructure de support Route



Exigences techniques:

sur le plan organisationnel

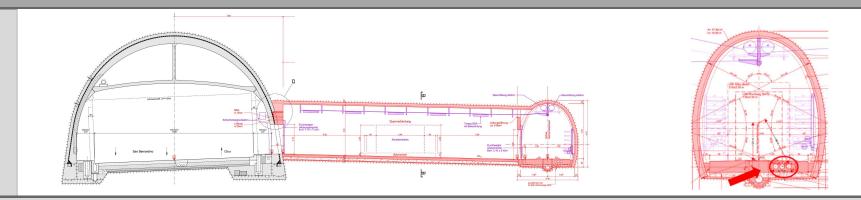
Ventilation La galerie de sécurité est ventilée en permanence : la ventilation est dimensionnée en vertu des prescriptions définies en [D-5]

Mesures possibles

modules pecensies			
sur le plan structurel	Pour respecter la VLI définie dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique :		
	Compensation de champ magnétique par des ajustements (compensation active)		
	Blindage magnétique (plaques spéciales en aluminium)		
	Marquages au sol ou délimitations pour assurer la distance de sécurité nécessaire par rapport aux câbles et aux manchons		
	Encapsulation des raccords à manchons		
	Séparation constructive des chambres/niches de jonction et de la galerie technique par une paroi en béton ou en maçonnerie.		
	Protection contre les chocs / glissières devant les raccords à manchons (carrossables)		
	Protéger les chambres à l'aide de couvercles sécurisés à remplissage de sable.		
sur le plan procédural	Identification des dangers et planification de mesures concernant les risques d'accidents et les risques pour la santé selon leur efficacité et leur coût		
	Élaboration d'un concept d'exploitation et de sauvetage pour les galeries de sécurité		
	Élaboration d'un concept de protection incendie		
sur le plan matériel	Possibilité d'équiper les galeries de sécurité de dispositifs de sécurité		
	Système radio		
	Caméras de surveillance		
	Déclenchement d'alarme		
	Matériel de secours en cas d'accident électrique		
	Extincteur portatif		
	Postes d'extinction d'incendie		

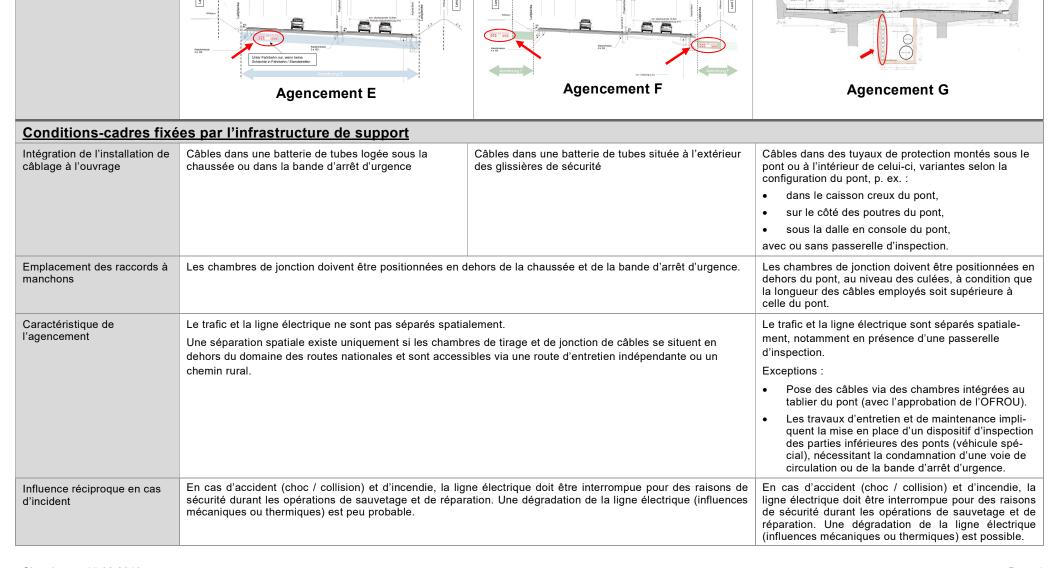
Situation au 15.02.2019 Page 4

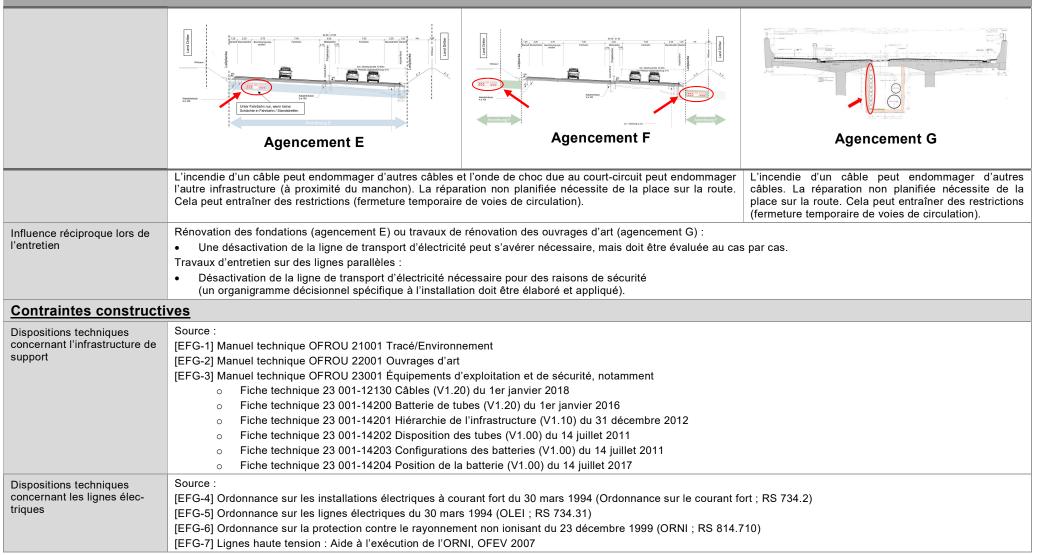
La galerie de sécurité est ventilée en permanence et durablement opérationnelle. Seules quelques mesures organisationnelles minimes sont nécessaires.

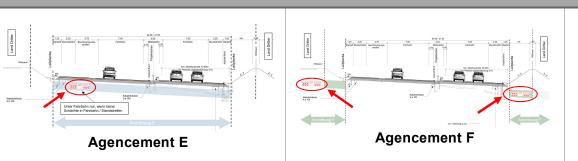


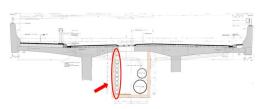
Attestations et clarifications spécifiques aux projets

Attoutions of confidence day projets		
Position et agencement des câbles	• Attestation du respect de la valeur limite d'immission de 100 μT fixé par l'ORNI pour la densité de flux magnétique dans les endroits accessibles au personnel exploitant de l'infrastructure de support.	
	La distance de sécurité doit être définie pour chaque projet en déterminant les champs magnétiques pour le courant thermique limite.	
	Au niveau des départs latéraux de chemin de fuite, le tracé de lignes électriques doit être défini dans le cadre du projet concret.	
Évacuation de la chaleur	Attestation que l'agencement satisfait aux exigences de l'installation de câblage (capacité de transport de courant).	
Agencement et protection des raccords à manchons	Les mesures constructives visant à respecter les objectifs de sécurité des installations et des personnes doivent être déterminées spécifiquement pour chaque projet en tenant compte du rapport coûts-avantages.	
Logistique des câbles	Définition de l'accès et de l'espace requis par la logistique des câbles en tenant compte du rapport coûts-avantages.	









Agencement G

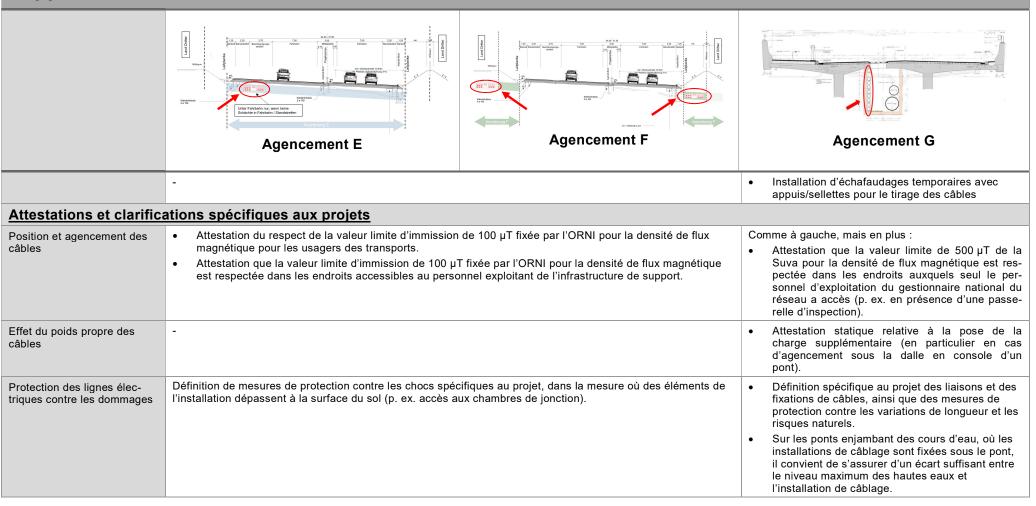
Contraintes réglementaires

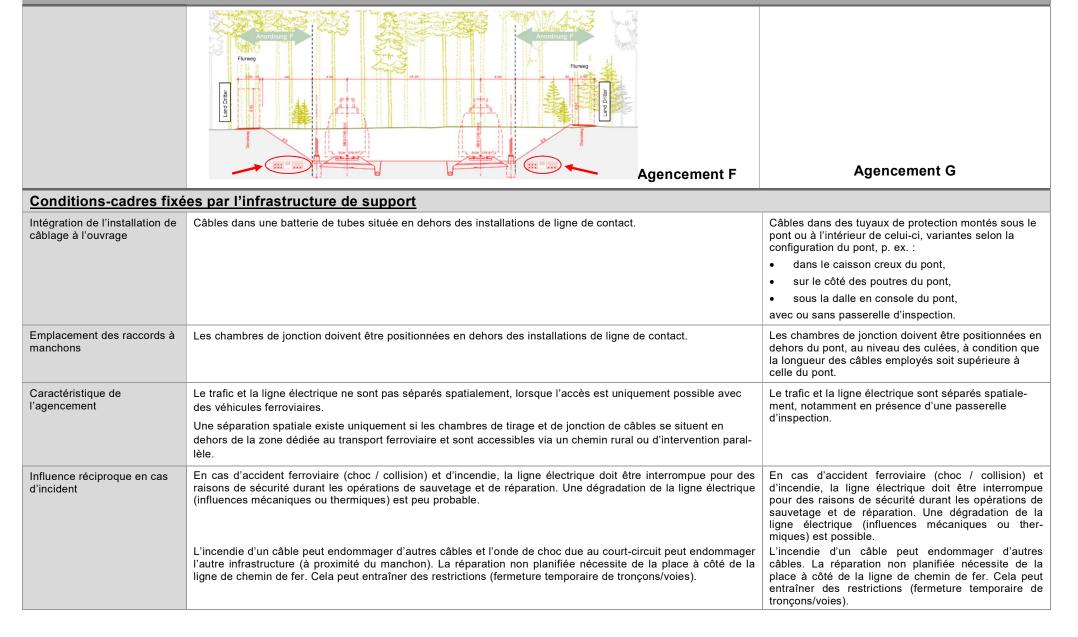
Installation de chantier sur les autoroutes et les semiautoroutes Des voies de circulation individuelles peuvent être condamnées au titre d'un chantier de courte durée, pendant une durée maximale de 72 heures. La signalisation est organisée par l'OFROU ou le canton concerné.

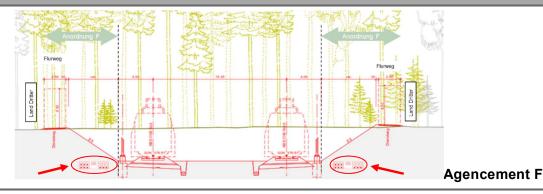
Exigences constructives

Position et agencement des Les câbles à haute tension doivent être placés dans une batterie de tubes de façon à respecter la valeur Les câbles haute tension doivent être placés de façon à respecter les valeurs limites suivantes : câbles limite d'immission fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique pour les usagers des transports [EFG-6/7]. la valeur limite d'immission fixée dans l'ORNI Une batterie de tubes intégrée à la chaussée ou à la bande d'arrêt d'urgence devra être positionnée suffipour la densité de flux magnétique sur le pont, samment profond pour ne pas gêner une future réfection de la chaussée. la valeur limite sur le lieu de travail définie par la Des tubes vides supplémentaires devront si possible être prévus dans la batterie de tubes. Suva pour la densité de flux magnétique sur la passerelle d'inspection. L'agencement et l'utilisation de l'installation de câblage doivent être coordonnés avec l'exploitant de l'infrastructure de support et, le cas échéant, d'autres usagers (eau. évacuation, fournisseur d'électricité local). Les câbles doivent être posés avec du « jeu » afin de leur permettre d'absorber les éventuelles variations de longueur de l'ouvrage. Protection des lignes élec-L'agencement d'installations de câblage est fon-Les liaisons et les fixations des câbles doivent triques contre les dommages damentalement à éviter dans les pentes insêtre dimensionnées en fonction de la zone sismique, conformément à la norme SIA 261, chapitre 16. En cas de risque d'affaissement, les câbles doivent être posés avec du « ieu » afin de leur permettre d'absorber les éventuelles variations de longueur de l'ouvrage. Les raccords à manchons doivent si possible être Protection des équipements placés dans des chambres de ionction. d'un pont contre les incendies

	Agencement E Agencement F	Agencement G
de câbles / explosions de manchons		Les raccords à manchons doivent être évités sous les ponts (en caisson ou au niveau des poutres).
Agencement des raccords à manchons	 Dans la mesure du possible, l'accès à l'emplacement des manchons doit être prévu via un chemin rural ou une route d'entretien situés en dehors du périmètre de la route nationale. Dans les cas où cela est impossible, l'accès via la route nationale doit être étudié spécifiquement au projet avec l'OFROU. Dans les cas où il est inévitable de positionner des chambres de jonction dans la chaussée ou la bande d'arrêt d'urgence, les chambres doivent être fixées conformément aux exigences de l'OFROU. 	Dans la mesure du possible, l'accès aux empla- cements de manchons situés devant des culées doit être prévu via un chemin rural ou une route d'entretien situés en dehors du périmètre de la route nationale.
Logistique des câbles	 Pour la livraison des bobines de câble, un accès durable et suffisant aux emplacements de tirage des câbles doit être garanti. Il convient notamment de veiller à leur compatibilité avec des véhicules spéciaux et des charges exceptionnelles. Dans les cas où la pose de câbles doit être effectuée à partir des baies d'arrêt d'urgence d'une route nationale, la longueur des câbles et l'intervalle entre les baies d'arrêt d'urgence doivent être coordonnés suffisamment tôt dans le cadre de la planification. Afin de prévoir suffisamment d'espace, il est important de tenir compte des dimensions des véhicules, de la bobine de câble chargée transversalement pour les longueurs > 560 m et des rayons de courbure de 3,5 m minimum à respecter lors de la pose du câble. Lorsque la pose des câbles doit être effectuée via une route d'entretien située en dehors du périmètre de la route nationale, la longueur des câbles doit être adaptée au terrain, aux constructions et aux possibilités d'accès. 	Comme à gauche, mais en plus : La pose ou le montage de câbles sur des éléments d'un pont nécessite une logistique bien pensée (procédé, machines et équipements), adaptée aux forces de traction des câbles admissibles. En cas de tirage des câbles depuis l'espace de circulation (culées), les chambres et les gaines de tirage de câbles doivent être aménagées via les culées de pont.
Mesures possibles		
sur le plan structurel	• En cas d'assainissement global d'une autoroute, investir dans des batterie de tubes en prévision de futures lignes de transport d'électricité. Tuyaux de protection de câbles de Ø = 250 mm, nombre de tuyaux selon besoins de Swissgrid et place disponible, min. 2 x 3 tuyaux	Passerelle d'inspection, selon le type d'agencement (p. ex. dans un caisson creux entre les poutres d'un pont).
	-	 Mise en œuvre d'un dispositif mobile d'inspection des parties inférieures des ponts (véhicule utilisé pour le contrôle de la sous-face des ponts).
	-	Appuis/sellettes fixes pour l'acheminement des câbles le long des poutres/du tablier du pont







Agencement G

Influence réciproque lors de l'entretien

Rénovation des fondations / travaux de rénovation des ouvrages d'art :

• Une désactivation de la ligne de transport d'électricité peut s'avérer nécessaire, mais doit être évaluée au cas par cas.

Travaux d'entretien sur des lignes parallèles :

 Désactivation de la ligne de transport d'électricité nécessaire pour des raisons de sécurité (un organigramme décisionnel spécifique à l'installation doit être élaboré et appliqué).

Contraintes constructives

Dispositions techniques concernant l'infrastructure de support

Source:

[FG-1] Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF)

Dispositions techniques concernant les lignes électriques

Source:

[FG-2] Ordonnance sur les installations électriques à courant fort du 30 mars 1994 (Ordonnance sur le courant fort ; RS 734.2)

[FG-3] Ordonnance sur les lignes électriques du 30 mars 1994 (OLEI; RS 734.31)

[FG-4] Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (ORNI : RS 814.710)

[FG-5] Lignes haute tension : Aide à l'exécution de l'ORNI, OFEV 2007

Exigences constructives

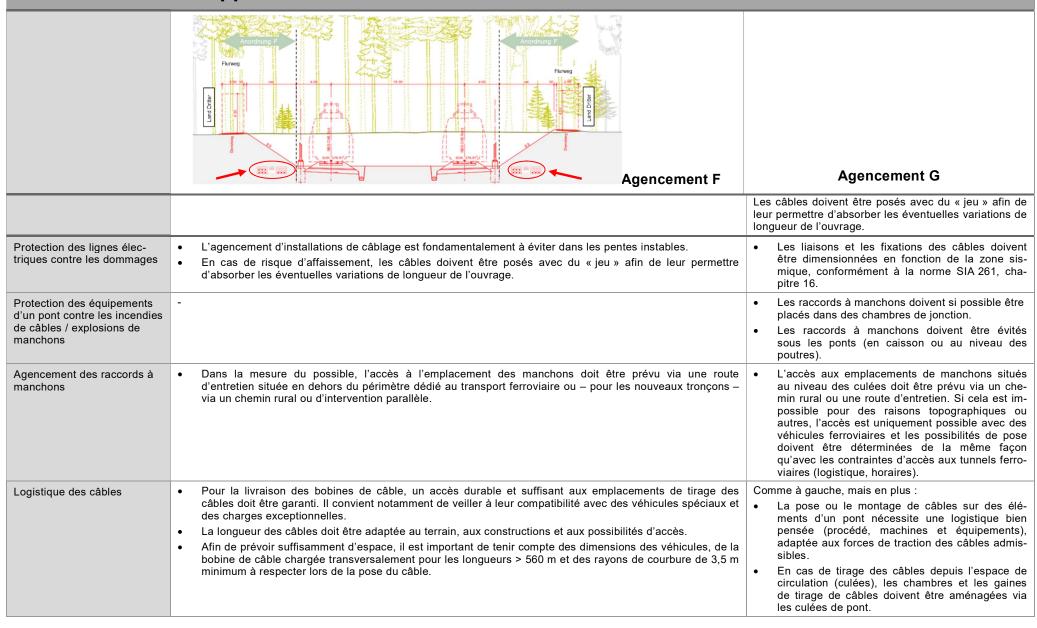
Position et agencement des câbles

- Les lignes câblées enterrées qui ne servent pas à l'exploitation ferroviaire doivent être posées en dehors du domaine des voies et des supports de ligne servant à l'alimentation électrique de l'installation de traction, en respectant un écart d'au moins 1,3 m par rapport au rail extérieur. Des exceptions sont possibles sous réserve d'obtenir l'accord de l'exploitant de l'infrastructure ferroviaire.
- Si possible, les câbles à haute tension doivent être posés séparément des câbles à basse tension et des câbles de commande et à courant faible (dans des blocs de câbles distincts).
- Les câbles à haute tension doivent être positionnés dans la batterie de tubes de façon à respecter la valeur limite d'immission fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique pour les passagers des trains [FG-4/5].
- Dans le cas d'infrastructures existantes, le tracé de câbles ne doit pas se situer dans le périmètre d'une ligne d'intérêt des CFF, afin d'en permettre de futures extensions (p. ex. dans la perspective d'une extension à deux voies).

Les câbles à haute tension doivent être placés de façon à respecter les valeurs limites suivantes :

- la valeur limite d'immission fixée dans l'ORNI pour la densité de flux magnétique sur le pont,
- la valeur limite sur le lieu de travail définie par la Suva pour la densité de flux magnétique sur la passerelle d'inspection.

L'agencement et l'utilisation de l'installation de câblage doivent être coordonnés avec l'exploitant de l'infrastructure de support et, le cas échéant, d'autres usagers (eau, évacuation, fournisseur d'électricité local).



Tronçons à ciel ouvert et ouvrages d'art – Variantes d'agencement F / G : infrastructure de support Chemin de fer

Anordnung F Furneg Jajud During F Agencement F

Agencement G

Mesures possibles

• sur le plan structurel

- Passerelle d'inspection, selon le type d'agencement (p. ex. dans un caisson creux entre les poutres d'un pont).
- Mise en œuvre d'un dispositif mobile d'inspection des parties inférieures des ponts (véhicule utilisé pour le contrôle de la sous-face des ponts).
- Appuis/sellettes fixes pour l'acheminement des câbles le long des poutres/du tablier du pont
- Installation d'échafaudages temporaires avec appuis/sellettes pour le tirage des câbles

Attestations et clarifications spécifiques aux projets

Position et agencement des câbles

- Attestation du respect de la valeur limite d'immission de 100 μT fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique pour les passagers des trains.
- Attestation que la valeur limite d'immission de 100 µT fixée par l'ORNI pour la densité de flux magnétique est respectée dans les endroits accessibles au personnel exploitant de l'infrastructure de support.

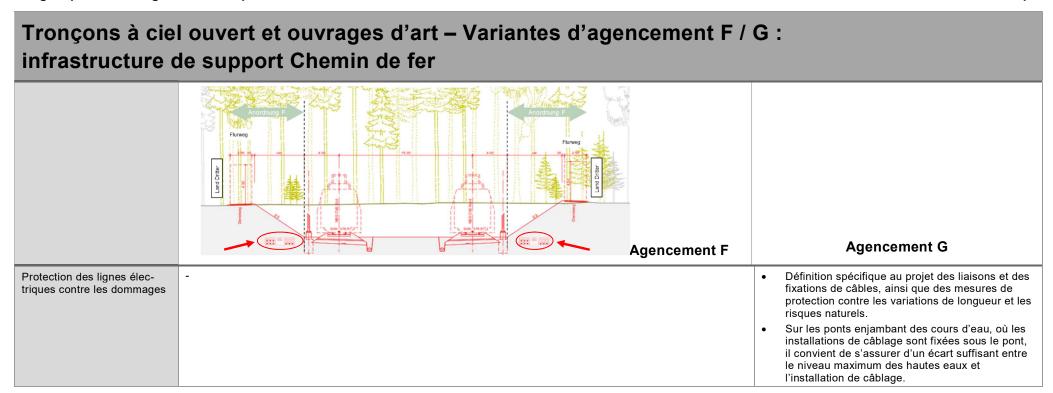
Comme à gauche, mais en plus :

 Attestation du respect de la valeur limite de 500 µT de la Suva pour la densité de flux magnétique est respectée dans les endroits auxquels seul le personnel d'exploitation du gestionnaire national du réseau a accès (p. ex. en présence d'une passerelle d'inspection).

- Effet du poids propre des câbles

 Attestation statique relative à la pose de la charge supplémentaire (en particulier en cas d'agencement sous la dalle en console d'un pont).

Situation au 15.02.2019 Page 4

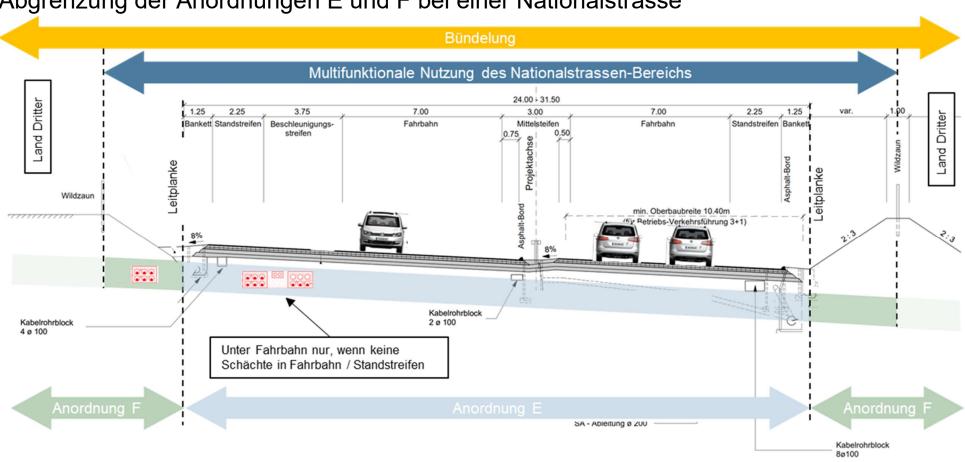


Situation au 15.02.2019 Page 5

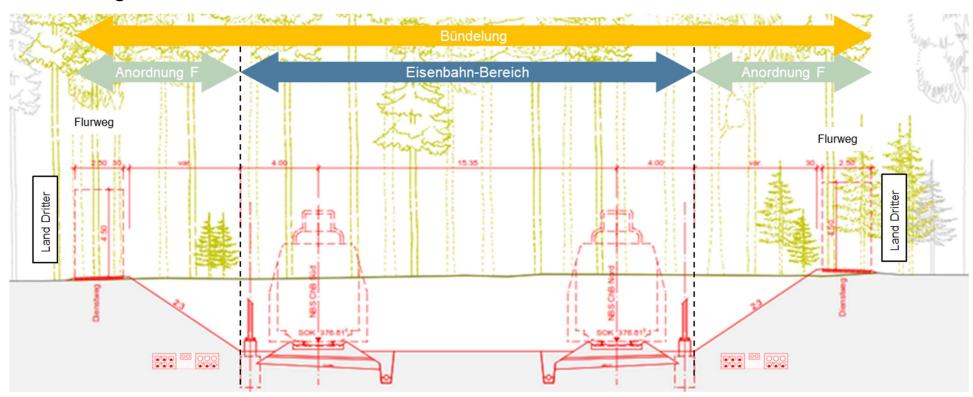
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Anhang 2: Abgrenzung der Anordnungen E und F bei einer Nationalstrasse



Anordnung F bei einer Eisenbahnstrecke



Office fédéral de l'énergie OFEN

Anhang 3: Lösungsansätze zur Kabelverlegung in Werkleitungskanälen (Anordnung A)

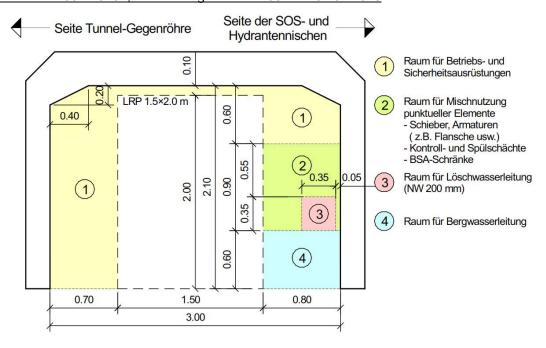
Randbedingungen WELK

Ein Werkleitungskanal (WELK) ist ein begehbarer, vom Fahrraum abgetrennter Kanal. Meistens ist er unter der Fahrbahn angeordnet. Er dient der Aufnahme von diversen Leitungen und ermöglicht dadurch zahlreiche Unterhaltsarbeiten unter Verkehr durchzuführen. Der verfügbare Raum ist beschränkt und soll daher möglichst günstig ausgenützt werden, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Leitungstypen, nämlich:

- die elektrischen Kabel zur Stromversorgung
- Übermittlungskabel (Kupfer, Glasfaser)
- Transitleitungen
- Bergwasserleitung
- Löschwasserleitung

Die Mitbenutzung des WELK für die Kabelanlage – als Übertragungsleitung - ist prinzipiell denkbar, bedingt aber eine Raumkoordination mit den Leitungen der Trägerinfrastruktur. Dazu ist der erforderliche Sicherheitsabstand zur Einhaltung des Grenzwertes am Arbeitsplatz der Suva für die magnetische Flussdichte (der in den Lichtraumprofilen für den Werkleitungskanal nach ASTRA-Fachhandbuch nicht berücksichtigt ist) und der Brandschutz zu garantieren.

Lichttraumprofile im WELK nach ASTRA Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik Merkblatt 24 001-10404, Werkleitungskanal V2.03 vom 01.01.2015:



Fazit: Die Mitnutzung eines vorfabrizierten WELK nach Merkblatt 24 001-10404 ist auf Grund der baulichen Dimensionen, der Leitungskoordination und des nicht vorhandenen Brandschutzes wenig geeignet. Es ist entweder eine Sonderbreite / -höhe oder ein separater WELK vorzuziehen.

Lösungsansatz separater WELK

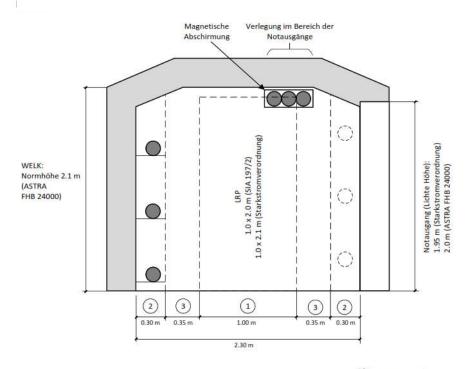
Eine mögliche Lösung ist ein durch eine Brandschutzmauer abgetrennter separater WELK für die Kabelanlage (Übertragungsleitung). Ein konkretes Beispiel hierzu ist die 2. Röhre des Gotthard-Strassentunnels, wo der WELK für die 380 kV-Leitung parallel zum betrieblichen WELK vorgesehen ist.

Eine im Endausbau als Doppelsystem vorgesehene Kabelanlage lässt sich im WELK beidseitig oder einseitig anordnen. Die Lösungsansätze sind unten schematisch dargestellt, die Vor- und Nachteile nachfolgend aufgeführt:

Anordnung der Kabelanlage im WELK Kabelanlage	Vorteile	Nachteile
beidseitig im Kanal	 thermisch günstig 	 erfordert schwierige Leitungs- umlegungen im Bereich der Fluchtwegabgänge Lichtraumprofil des Gangs wird an dieser Stelle verletzt erfordert ev. magnetische Ab- schirmung der Kabel nach in- nen, um den Grenzwert der Suva (500 µT) für die magne- tische Flussdichte einzuhal- ten
einseitig im Kanal	 durchgehendes Leitungstrasse ungehinderte seitliche Zugänge / Fluchtwegabgänge Platzbedarf ist geringer 	 thermisch ungünstiger Anordnung der Fluchtwegabgänge ist nur auf einer Seite möglich

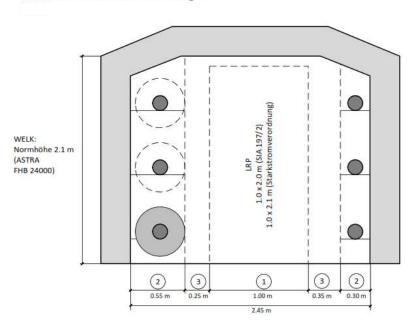
Leitungsanordnung beidseitig

WELK 380/220 kV Querschnitt mit seitlichem Notausgang



- 1 Montagegang / Fluchtweg
- 2 Montagebereich
- 3 Sicherheitsabstand

WELK 380/220 KV Querschnitt mit Muffenverbindungen



Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Beidseitig angeordnetes Doppelsystem

Informative Anhaltswerte zu den horizontalen Massen

Querschnitt	Breite Gang / Fluchtweg	Kabeltechnischer Nutzraum je System	Approximativer Sicherheits- abstand ¹	Lichte Breite WELK
Normalprofil	1.0 m ² , ³ bis 1.5 m ⁴	ca. 30 cm (beidseits)	ca. 30-40 cm	2.3 – 2.8 m
Mit Muffen- verbindungen	wie oben	ca. 55 cm (einseitig, andere Seite wie im Normalprofil)	ca. 20-30 cm	2.45 – 2.95 m

Informative Anhaltswerte zu den vertikalen Massen:

Querschnitt	Höhe Gang / Fluchtweg ⁵
Normalprofil	2.0 m ^{1, 3} 2.1 m ²
Seitliche Fluchtweg- abgänge	1.95 m ² 2.0 ³

um den Grenzwert der Suva (500 μT) für die magnetische Flussdichte einzuhalten

gemäss Norm SIA 197/2

gemäss Anhang 1 der Starkstromverordnung für Innenraumanlagen (Bedienungsgänge in Hochspannungsanlagen)

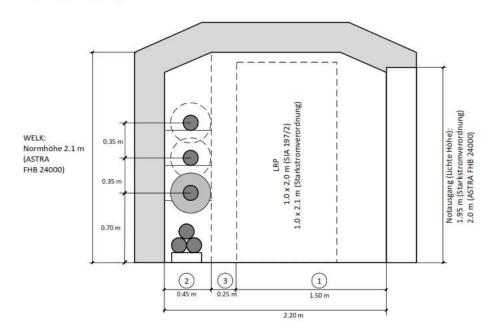
gemäss ASTRA-Merkblatt 24 001-10404 Werkleitungskanal (V2.03) vom 01.01.2015

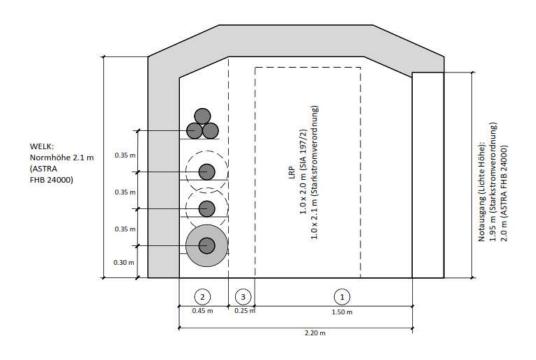
ausserhalb von Leitungsquerungen

Leitungsanordnung einseitig

WELK 380/220 kV Querschnitt mit seitlichem Notausgang und Muffenverbindungen

- Muffenverbindungen in Längsrichtung gestaffelt
- Muffendurchmesser 0.40 m





Clarification de questions de principe concernant le regroupement de lignes de transport d'électricité avec des routes nationales et des lignes ferroviaires

Einseitig angeordnetes Doppelsystem

Informative Anhaltswerte zu den horizontalen Massen:

Querschnitt	Breite Fluchtweg	Kabeltechnischer Nutzraum	Approximativer Sicherheits- abstand ¹	Lichte Breite WELK mit Kabelanlage
Normalprofil	1.5 m ⁴	ca. 40-50 cm	ca. 20-30 cm	bis 2.2 m
Mit Muffen- verbindungen	wie oben	wie oben	wie oben	wie oben

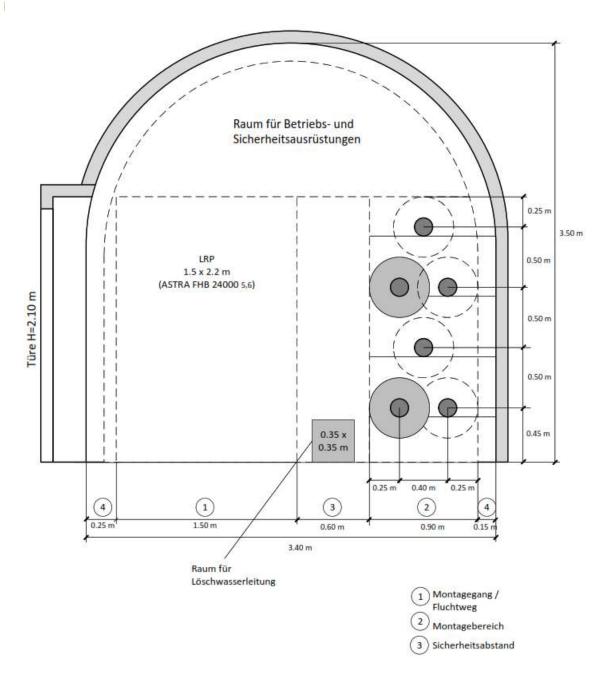
Informative Anhaltswerte zu den vertikalen Massen:

Querschnitt	Höhe Gang / Fluchtweg ⁴
Normalprofil	2.0 m ^{1, 3} 2.1 m ²
Seitliche Fluchtwegab- gänge	1.95 m ² 2.0 m ³

Office fédéral de l'énergie OFEN

Anhang 4: Lösungsansatz zur Kabelverlegung in Sicherheitsstollen (Anordnung D)

380/220 kV in Sicherheitsstollen Querschnitt mit seitlicher Querverbindung



⁶ gemäss ASTRA-Merkblatt 24 001-10706 Begehbare Querverbindungen (V2.03) vom 01.01.2015

gemäss ASTRA-Merkblatt 24 001-10707 Sicherheitsstollen, Fluchtstollen (V2.03) vom 01.01.2015

