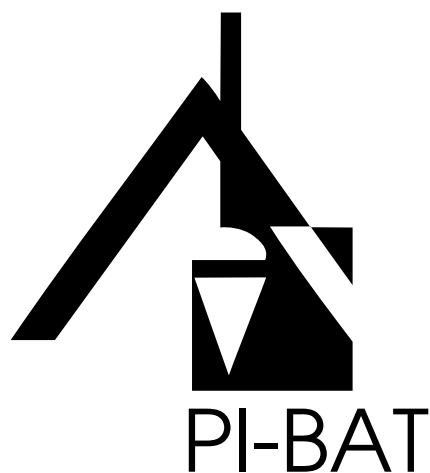


Maintenance des ouvrages en tunnel

Entretien et rénovation des constructions



La maintenance des ouvrages en tunnel

La Suisse est un pays riche en tunnels: rien que pour les routes nationales, plus de 200 km de tunnels sont en exploitation – la moitié environ de ce qui est prévu à l'achèvement du réseau. Les compagnies de chemin de fer exploitent elles aussi un nombre important de tunnels dont environ 200 km pour le seul réseau des CFF.

Contrairement aux tunnels ferroviaires dont la réalisation remonte en général à plusieurs dizaines d'années, les tunnels d'autoroute datent d'une époque récente. Fortement sollicités par les véhicules à moteur et équipés d'installations électromécaniques indispensables à leur exploitation, ils exigent un entretien plus rapide et plus intense que les tunnels ferroviaires.

Dans ces conditions, la maintenance des tunnels devient toujours plus importante et les méthodes et techniques y relatives font l'objet d'études et de propositions de perfectionnement.

La population également prend conscience de l'importance de cette tâche et de l'investissement financier nécessaire. La situation économique générale et notamment la dégradation des finances de la Confédération, des Cantons et des Communes, nécessitent des efforts d'économie. Il est d'autant plus important d'utiliser à l'avenir les moyens à disposition à bon escient, et de réaliser les travaux d'entretien et de rénovation appropriés au bon moment.

Le plan de maintenance est l'outil indispensable à une bonne gestion à long terme. C'est le moyen de concilier les exigences des travaux d'entretien et de rénovation avec l'investissement financier, l'engagement du personnel d'entretien, les restrictions de la circulation ainsi que les exigences de la sécurité et de la protection de l'environnement. Le temps à consacrer à l'étude d'un plan de maintenance doit bien sûr rester en rapport avec la complexité de la tâche et l'importance des travaux envisagés.

Le document PI-BAT «Maintenance des ouvrages en tunnel» décrit les différentes phases du plan de maintenance. Son application est illustrée en annexe par deux exemples pratiques.

Maintenance des ouvrages en tunnel

Associations de soutien

- SIA Société suisse des ingénieurs et architectes
ASIC Association suisse des ingénieurs-conseils
VSS Union des professionnels suisses de la route
SLG Association suisse de l'éclairage

La présente publication «Maintenance des ouvrages en tunnel» a été élaborée par un groupe de travail du programme d'impulsions «Entretien et rénovation des constructions».

Membres du groupe de travail «Maintenance des ouvrages en tunnel»:

- E. Heimgartner, Ernst Basler & Partner AG, Zollikon
- A. Henke, Lombardi SA, Locarno
- J.-M. Jeanneret, Allemand Jeanneret Schmid SA, Neuchâtel
- J. Matter, R. Bergmann, Basler & Hofmann, Zürich
- W. Schmidlin, CFF Arr. II, Luzern
- A. Steiner, Ernst Basler & Partner AG, Zollikon
- U. Welte, Amstein und Walthert, Zürich

Membres de la direction du projet génie civil

- R. Sägesser, SKS Ingenieure AG, Zürich
- Dr D. Schmid, Allemand Jeanneret Schmid SA, Neuchâtel

Support consultatif:

- W. Altermatt, Rhätische Bahnen, Chur
- H. Bargähr, Baumat Uri, Altdorf
- Prof. Dr Ing. E.h.R. Fechtig, EPFZ, Zürich
- Ingenieurbüro W. Galli, Glattbrugg
- P. Jolissaint, Ingenieurbüro AG Conrad Zschokke, Zürich
- Prof. Dr K. Kovari, EPFZ, Zürich
- H.R. Scheidegger, Office fédéral des routes, Bern
- P. Wildi, Tiefbauamt Graubünden, Chur

Direction du groupe de travail

- A. Steiner, Ernst Basler & Partner AG, Zollikon

Source des illustrations

Les illustrations et les graphiques proviennent des auteurs et des membres du groupe de travail.

Rédaction

- Ernst Basler & Partner AG, Zollikon

Adaptation française

Traduction

- Allemand Jeanneret Schmid SA, Neuchâtel

Coordination

- Andreas Schmid, architecte EPFL/SIA Dommartin

Mise en page et photocomposition

- Consortium DAC/City Comp SA, Lausanne et Morges

ISBN 3-905234-78-5

Edition originale: ISBN 3-905234-65-5

Copyright © 1993 Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne.

Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source.

Diffusion: Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie», EPFL-LESO, Case postale 12, 1005 Lausanne (N° de commande 724.460 f)

Form. 724.460 f 01.94 750

Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le programme d'action « Construction et Energie » se compose des trois programmes d'impulsions suivants :

PI-BAT – Entretien et rénovation des constructions

RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité

PACER – Energies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Leur but est de favoriser une croissance économique qualitative. Dans ce sens ils doivent conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Le programme PI-BAT répond à la nécessité qu'il y a d'entretenir correctement les constructions de tous types. Aujourd'hui une partie toujours plus grande des bâtiments et des équipements de génie civil souffrent de défauts techniques et fonctionnels en raison de leur vieillissement ainsi que de l'évolution des besoins et des sollicitations. Si l'on veut conserver la valeur de ces ouvrages, il y a lieu de les rénover, et pour ce faire on ne peut s'appuyer sur l'empirisme. Le programme d'impulsions PI-BAT ne se limite pas aux aspects techniques et d'organisation, il s'étend également au cadre juridique, qui jusqu'ici était essentiellement tourné vers les constructions neuves. Le programme couvre ainsi les trois domaines suivants: bâtiments, génie civil et problèmes apparentés à la rénovation.

Si l'on veut conserver les qualités techniques et architecturales de nos bâtiments et si l'on souhaite préserver des quartiers, voire des villages, des connaissances nouvelles doivent être apportées aux nombreuses personnes concernées: propriétaires, autorités, concepteurs, entrepreneurs et collaborateurs de tous niveaux.

Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Le PI-BAT cherche à atteindre ces objectifs par l'information, la formation et le perfectionnement des fournisseurs et des demandeurs de prestations dans le domaine de la rénovation. Le transfert de connaissances est axé sur la pratique quotidienne; basé essentiellement sur des manuels et des cours, il comprend également d'autres types de manifestations. Le bulletin « Construction et Energie », qui paraît trois fois l'an, fournit des détails sur toutes ces activités.

Chaque participant à un cours, ou autre manifestation du programme, reçoit une publication spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues en s'adressant directement à la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie » EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux écoles, ou aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles concernées.

Ce sont également les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités proposées. Pour la préparation de ces activités une direction de projet a été mise en place; elle se compose de MM. Reto Lang, Andreas Bouvard, Ernst Meier, Rolf Saegesser, Andreas Schmid, Dieter Schmid, Richard Schubiger, Hannes Wuest et Eric Mosimann de l'OFQC. Une très large part des activités est confiée à des groupes de travail, ceux-ci sont responsables du contenu de même que du maintien des délais et des budgets.

Publication

La maintenance des ouvrages en tunnel est une tâche extrêmement complexe qui exige un savoir-faire très développé de la part des offices responsables et des ingénieurs concernés. La présente publication doit aider à s'initier à la formulation des buts à atteindre et à la planification des ouvrages en tunnel, afin de donner une base aux services d'entretien responsables de l'organisation des travaux, du personnel et des coûts. Néanmoins, la marche à suivre de chaque planification de maintenance doit être étudiée de cas en cas.

La présente publication a fait l'objet d'une procédure de consultation ce qui a permis aux auteurs d'effectuer les modifications nécessaires. Ceux-ci ont toutefois gardé leur liberté d'appréciation pour les questions où les avis divergeaient. Ils assument donc aussi la responsabilité de leurs textes. Des améliorations sont encore possible et des sugges-

tions éventuelles peuvent être adressées soit au directeur du cours, soit directement à l'Office fédéral des questions conjoncturelles.

Pour terminer nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de la présente publication.

Dr Heinz Kneubühler
Directeur suppléant de
l'Office fédéral des questions
conjoncturelles

Table des matières

1.	Introduction	7
1.1	Enoncé du problème	7
1.2	But de la publication	8
1.3	Public visé	8
1.4	Etendue du domaine traité	8

2.	Terminologie utilisée dans le domaine de la maintenance	11
2.1	Terminologie	11
2.2	Comparaison SIA 169/Directives OFR	11
2.3	Assurance de qualité	11

3.	Conditions cadres pour la maintenance des tunnels	13
3.1	Conditions de la planification	13
3.2	Préalables à l'exécution des travaux de maintenance	14

4.	Planification de la maintenance d'ouvrages en tunnel	15
4.1	Aperçu	17
4.2	Tâches de la maintenance	18
4.3	Conditions cadres	21
4.4	Concepts de maintenance	26
4.5	Plan de maintenance	27
4.6	Programme de maintenance	27
4.7	Programme des travaux	28
4.8	Contrôle et mise à jour de la planification de la maintenance	28

5.	Techniques spécifiques aux tunnels	29
5.1	Remarques préliminaires	31
5.2.	Rénovation d'un tunnel ferroviaire à voie unique (Stadttunnel CFF à Zoug)	31
5.3	Rénovation d'un tunnel ferroviaire à deux voies (tunnel CFF du Rohrbach)	35
5.4	Remise en état de la voûte (tunnels d'accès au Gothard, N2)	39
5.5	Remplacement partiel de la dalle intermédiaire (tunnel routier du Gothard, N2)	42
5.6	Gestion du trafic pendant les travaux d'entretien (tunnel du Belchen, N2)	45
5.7	Montage d'un chemin de câbles dans le canal de ventilation (tunnel du Belchen, N2)	48

Annexes

A.	Planification de la maintenance d'un tunnel CFF (exemple de la direction d'Arrondissement II CFF)	51
B.	Planification de la maintenance d'un tunnel des routes nationales (exemple: plan de maintenance du tunnel routier du Gothard, N2)	65
C.	Définition des termes de la maintenance de l'ouvrage	83
D.	Structuration des différents domaines	91

Références	103
Bibliographie	105
Publications du programme d'impulsions PI-BAT	107

1. Introduction

1.1 Enoncé du problème

La Suisse est un pays riche en tunnels. Actuellement le réseau des routes nationales compte environ 170 km de voies souterraines en service, 60 km en construction et à l'achèvement du réseau des routes nationales on comptera plus de 400 km de tunnels. Ces 400 km représentent environ 380 ouvrages. La longueur moyenne d'un tunnel est donc d'environ 1 km. La répartition de l'âge des tunnels est représentée dans la figure 1.1. Il faut remarquer que les tunnels du réseau des routes nationales sont relativement récents par rapport aux tunnels ferroviaires ou à ceux du réseau des routes cantonales. Il faut aussi remarquer que la part des tunnels avec ventilation mécanique et installations électromécaniques correspondantes est élevée ; au total elle est d'environ 80 %.

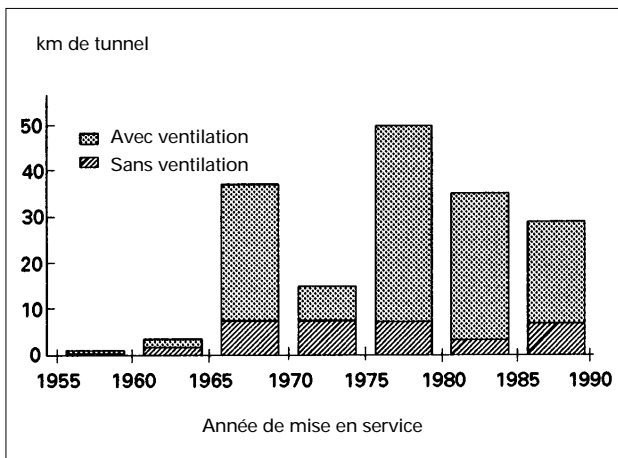


Figure 1.1 : Répartition de l'âge des tunnels du réseau des routes nationales

Les Chemins de fer fédéraux comptent 255 tunnels en service, ce qui représente une longueur totale de 205 km (130 km à voie unique et 75 km à double voie). Par rapport aux tunnels du réseau des routes nationales leur âge est sensiblement plus élevé. Les tunnels les plus vieux ont plus de 120 ans et la moyenne se situe à presque 80 ans d'âge (fig. 1.2). A part les installations électriques spécifiques aux chemins de fer, qui sont d'ailleurs les mêmes qu'en tracé à ciel ouvert, les tunnels ferroviaires n'ont pas d'installation électromécanique spécifique comme par exemple la ventilation mécanique ou l'éclairage.

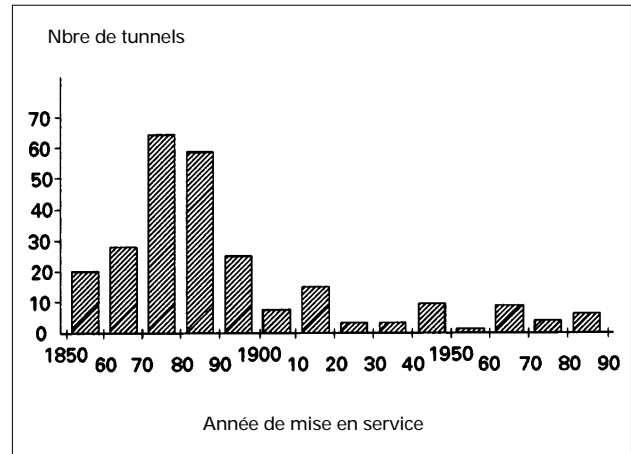


Figure 1.2: Répartition de l'âge des tunnels CFF

Cependant dans les nouveaux tunnels très fréquentés on met de plus en plus en place des installations électromécaniques (par exemple S-Bahn à Zurich).

A cause de cette moyenne d'âge plus élevée, les chemins de fer sont confrontés depuis quelques temps déjà au problème de la maintenance. De plus, les nouvelles exigences, comme par exemple l'électrification (1920 à 1930), l'agrandissement du gabarit d'espace libre (par exemple pour le trafic combiné) demandent des travaux de rénovation et d'adaptation supplémentaires.

Les tunnels du réseau des routes nationales sont donc beaucoup plus récents que les tunnels des chemins de fer, mais leur sollicitation par les véhicules à moteur provoque une dégradation plus rapide (principalement à cause des gaz d'échappement et l'apport de sels de déverglaçage). Par ailleurs, les installations électromécaniques requièrent une maintenance plus élevée que les éléments de construction (par exemple remplacement des installations ensuite de leur durée de vie plus courte).

Tous ces points font que l'entretien des ouvrages en tunnels prend toujours plus d'importance. Les conditions cadres de l'organisation et de la mise en œuvre de la maintenance des tunnels sont multiples. Même si ces conditions varient d'un tunnel à l'autre, certaines restent valables pour tous les ouvrages.

Les conditions cadres découlent des exigences imposées à la maintenance :

- dans un contexte financier restreint ;
- avec un minimum de gêne pour la circulation ;
- avec un impact réduit sur l'environnement (dans le respect de toutes les prescriptions en vigueur) ;
- avec un minimum de risques pour la sécurité des usagers et du personnel d'entretien

d'empêcher la fermeture hors programme des tunnels pour cause de remise en état et de leur garantir une longévité totale (durée d'exploitation) aussi grande que possible.

1.2 But de la publication

Comme pour tous les ouvrages, une bonne planification est déterminante, à long terme, pour la réussite de la maintenance des tunnels routiers ou ferroviaires. La présente documentation donne un aperçu complet et méthodique des procédés de planification et indique quelles bases sont nécessaires, quelles conditions doivent être respectées et quels moyens peuvent être mis en œuvre.

Il existe une large expérience des projets de détail des mesures de maintenance dans les secteurs de la construction et de l'électromécanique. Quelques exemples des méthodes et techniques appliquées aujourd'hui sont rassemblées dans le chapitre 5. Dans le secteur des contrôles d'ouvrage, des examens d'état ainsi que des méthodes d'entretien et de rénovation, on dispose de larges documentations de diverses institutions et certaines sont en préparation (cf. les références en annexe). Ces publications donnent aussi un aperçu des dommages dans les tunnels et de leurs causes qui ne sont pas traités ici.

Pour illustrer la planification de la maintenance et sa mise en œuvre, deux exemples d'application d'une certaine complexité sont décrits en annexe : l'annexe A pour les tunnels ferroviaires et l'annexe B pour les tunnels des routes nationales (tunnel routier du Gothard).

La base de la présente documentation se fonde sur une approche pragmatique de la notion de tunnel, c'est-à-dire :

- tube fermé construit à ciel ouvert ou en souterrain ;

- tunnels ouverts au trafic ferroviaire ou routier ;
- tunnels souvent équipés d'installations électromécaniques (principalement les tunnels routiers) ;
- de la même manière que les tunnels, on peut traiter les tubes partiellement ouverts surtout s'ils disposent d'équipement électromécanique (par exemple les galeries, tunnels d'accès etc.).

Pour les constructions analogues aux tunnels (par exemple les galeries, les conduites), l'utilisateur est libre d'adapter librement les réflexions présentées.

1.3 Public visé

Le public visé est principalement composé des gens de la construction et de l'administration qui sont confrontés avec la planification et l'exécution d'ouvrages en tunnels (travaux publics, services d'entretien etc.) ainsi que les ingénieurs qui œuvrent ou œuvreront dans le domaine de l'entretien et la rénovation des tunnels.

A part cela, cette documentation s'adresse aussi aux grands offices de la Confédération (par exemple OFR) ainsi qu'aux experts qui s'occupent de la construction de tunnels (offices, concepteurs et entreprises).

1.4 Etendue du domaine traité

La présente documentation traite aussi bien des tunnels routiers que ferroviaires, revêtus ou non. Dans la maintenance des tunnels, il y a interaction entre les systèmes constructifs et électromécaniques. Dans le plan de maintenance il faut donc introduire tout à la fois les éléments de construction que l'électromécanique. Cela est aussi bien valable pour l'entretien de service que pour la rénovation.

Les équipements spécifiquement ferroviaires (lignes de contact, rails, infrastructure) ne seront pas traités ici pour les raisons suivantes :

- le savoir-faire et les expériences sont concentrées dans les services spécialisés des chemins de fer ;
- les différences entre voie ouverte et tunnel sont minimales (les mesures d'entretien spécifiques

aux installations ferroviaires sont prises pour les secteurs entiers et non pour les tunnels seuls);

- les travaux de surveillance, d'entretien et les divers travaux de rénovation des installations ferroviaires sont exécutés par les services spécialisés eux-mêmes.

D'autres domaines du génie civil sont traités dans les projets PI-BAT «Le diagnostic des ouvrages de génie civil», «La maintenance des routes à grand débit en exploitation», «Les infrastructures communales» et «La gestion des coûts dans les tâches de maintenance».

2. Terminologie utilisée dans le domaine de la maintenance

2.1 Terminologie

Ouvrage en tunnel : la définition des termes utilisés dans la construction des tunnels, pour l'ouvrage, les parties d'ouvrage, les installations électriques et mécaniques, se conforme à la norme SIA 198 (édition 1993) [3]. Pour les tunnels ferroviaires les parties spécifiques sont définies dans les ordonnances et règlements internes s'y rapportant.

Maintenance : la définition de la maintenance de la valeur de l'ouvrage, des installations, des équipements électriques et électromécaniques se réfère à la recommandation SIA 169 (édition 1987) [1].

Pour les tunnels du réseau des routes nationales, le respect de la systématique des directives de l'Office fédéral des routes (OFR) [2], qui se basent sur la loi fédérale sur les carburants, est obligatoire. Les termes utilisés par l'OFR servent en même temps à la délimitation des « investissements » par rapport aux « dépenses courantes ».

Les CFF se conforment dans leurs définitions à la recommandation SIA 169 (édition 1987) [1].

Les définitions des normes concernant l'entretien SN 113 001 [7] s'écartent de celles de la recommandation SIA 169; on ne les considérera donc pas ici. Bien que les termes relatifs à la maintenance des ouvrages soient souvent utilisés de manière variable dans les recommandations, et que la révision en cours de la recommandation SIA 169 « Maintenance des ouvrages de génie civil » [1] cherche à les coordonner et les unifier, il ne résulte pas de difficulté particulière pour la juxtaposition des diverses définitions de la planification de la maintenance.

Il est recommandé de fixer les définitions (directives OFR ou recommandation SIA 169) les plus adaptées et de les imposer comme seules bases pour l'étude des travaux de maintenance.

2.2 Comparaison SIA 169 – Directives OFR

Dans le graphique de la figure 2.1, les définitions des termes de l'OFR et de la SIA sont confrontés. L'annexe C résume les différentes définitions qui ont trait à l'entretien des ouvrages.

Il faut noter les particularités suivantes :

- le domaine surveillance selon SIA est contenu dans les directives OFR dans l'entretien courant (en général les contrôles) et dans le gros entretien (relevé de l'état);
- le domaine entretien courant selon SIA (partie du domaine entretien) a le même terme, entretien courant, dans les directives OFR; le domaine SIA entretien spécialisé correspond dans les directives OFR au gros entretien;
- pour l'OFR le domaine aménagement recouvre partiellement le remplacement de la norme SIA. L'aménagement comprend en partie la reconstruction d'ouvrages routiers et ainsi ne correspond pas entièrement au terme SIA renouvellement.

Les définitions utilisées dans cette documentation pour les systèmes constructifs et électromécaniques des tunnels se basent sur les directives OFR pour l'entretien des tunnels routiers. Pour la surveillance, elles sont complétées par les termes détaillés de la SIA, termes également utilisés par les CFF.

2.3 Assurance de qualité

Le but ultime de toutes les mesures garantissant la qualité de la maintenance des tunnels est le maintien d'une exploitation fiable du point de vue de la sécurité, une durée de vie optimale des systèmes et une minimalisation des mesures d'entretien. De ce fait la qualité requise par le Maître d'ouvrage doit être atteinte par les mesures d'assurance de qualité : qualité à la planification, au choix des matériaux et à la mise en œuvre de toutes les mesures d'entretien.

Avec le temps, l'assurance de qualité n'a cessé de gagner en importance dans la construction. Elle comprend aussi toutes les mesures visant au maintien de la valeur. L'organisation et l'application de l'assurance de qualité se base presque partout sur l'Euronorme de la série EN 29000 [12] reprise comme norme suisse. Cette norme a été créée essentiellement pour des entreprises de production. C'est la raison pour laquelle beaucoup de termes et de définitions ne sont pas directement applicables à la construction. L'adaptation des normes d'assurances de qualité à la construction et l'introduction de systèmes d'assurance de qualité

dans les bureaux de planification et dans les entreprises de construction ne s'imposent que lentement. C'est pourquoi en Suisse, diverses institutions (maîtres d'ouvrage du domaine public et du domaine privé, organisations d'assurance de qualité, groupes de travail de la SIA, par exemple)

s'efforcent de définir les termes et les directives d'application spécifiquement adaptés à la construction en se basant sur l'Euronorme EN 29000. De leur côté les mandants exigeront de plus en plus que l'exécution des travaux confiés se fasse dans le cadre d'un programme d'assurance de qualité.

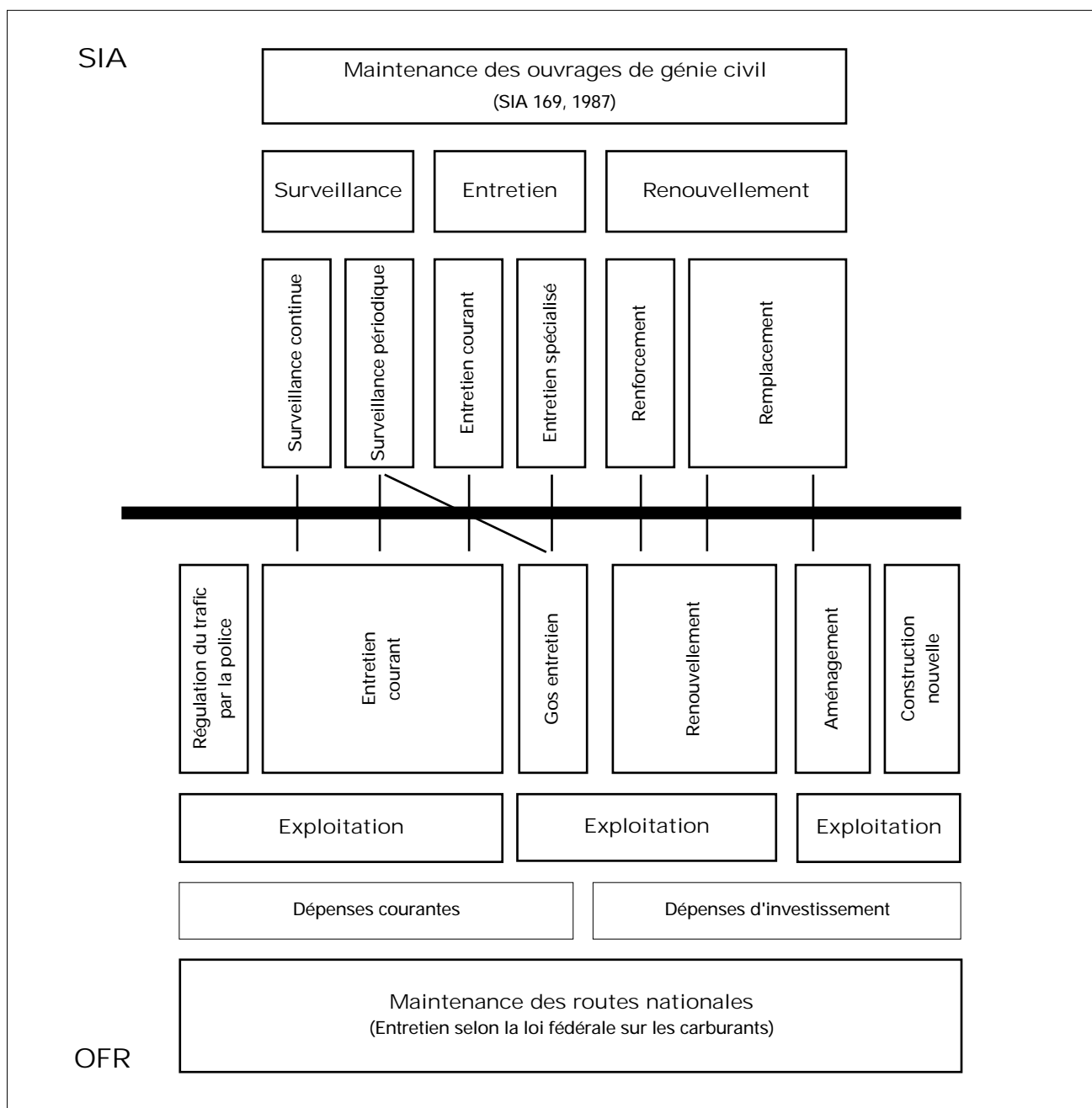


Figure 2.1: Comparaison des activités de maintenance selon SIA 169 (1987) et les directives de l'OFR

3. Conditions cadres pour la maintenance des tunnels

3.1 Conditions de la planification

Dans la présente publication les tunnels sont compris comme ouvrages permettant d'assurer la circulation (cf. chap. 1.2). L'entretien des tunnels se déroule dans le cadre de cinq conditions principales: les moyens financiers, l'interaction avec le trafic, les répercussions sur la sécurité et l'environnement ainsi que le plan d'engagement du personnel des services d'entretien.

a) La maintenance des tunnels coûte cher et les moyens financiers à disposition sont limités. A l'avenir, il faudra de plus en plus économiser. Il est donc indispensable d'exécuter non seulement les mesures d'entretien et de rénovation les plus urgentes mais surtout les plus adéquates. Seule une planification à long terme permettra de fixer les priorités et d'exécuter les travaux d'entretien au moment le plus propice. Les mesures à mettre en œuvre doivent être minutieusement planifiées pour obtenir des projets d'exécution économiques.

b) Les tunnels servent à la circulation routière ou ferroviaire. Les travaux d'entretien perturbent la fluidité du trafic. Les tunnels sont des ouvrages fermés, sans accès latéral pour les chantiers et les espaces de travail sont limités en largeur et en hauteur. Dans les tunnels ferroviaires, les chantiers mobiles doivent être desservis en partie par rail.

Une partie importante des tunnels comprend des installations électromécanique telles que ventilation, éclairage, signalisation, dispositifs de surveillance et d'alarme avec leurs appareils de mesure, de pilotage et de réglage ainsi que les systèmes de gestion. Certaines installations électromécaniques doivent impérativement fonctionner pour garantir une circulation correcte du trafic. Mais les installations électromécaniques nécessitent précisément un entretien plus important. En effet les pannes y surviennent en général soudainement contrairement aux dégâts des éléments de construction qui s'aggravent lentement.

Du point de vue de l'écoulement du trafic, c'est-à-dire de la minimisation des entraves à la circulation, la planification de la maintenance préventive est d'une importance primordiale.

c) L'aspect suivant concerne la sécurité. En régime normal, c'est-à-dire sans chantier dans le tunnel, la panne soudaine de certaines installations électromécaniques (éclairage, ventilation, gestion du trafic) peut engendrer des situations dangereuses. La défaillance soudaine d'éléments de construction, comme par exemple les fixations de plaques de parois ou de dalles, peut aussi provoquer des accidents. De plus les interventions de secours dans les tunnels sont plus difficiles qu'à ciel ouvert. C'est pour cela que du point de vue «sécurité en régime normal», l'entretien préventif est d'une importance toute particulière dans les tunnels.

Pendant l'exécution des activités de maintenance avec chantier dans le tunnel, il faut tenir compte des dangers courus par le personnel des services d'entretien ainsi que des risques d'accident pour les usagers. Dans le cas de déviation de la circulation, il faut tenir compte des risques d'accident sur le tronçon de déviation pour les usagers ainsi que pour les tiers (par exemple les habitants de localité avec traversée étroite).

d) Des réflexions similaires doivent être également faites sur les incidences sur l'environnement et sur les risques pour la santé des usagers des tunnels, du personnel d'entretien et des tiers. Les effets les plus importants à considérer sont les nuisances sonores et la pollution de l'air.

e) En même temps que la planification financière à long terme de la maintenance des tunnels, il faut dresser le plan d'intervention des équipes d'entretien. Cela permet une occupation régulière du personnel; les pointes d'occupation peuvent être ainsi évitées ou être prévues avec assez d'avance pour prendre les mesures adéquates.

Dans le plan d'intervention des services d'entretien, il faut toujours tenir compte d'une réserve de travail suffisante pour «l'entretien hors programme» suite à des accidents ou des pannes.

En résumé, les conditions cadres de la maintenance des ouvrages en tunnels montrent que la planification à long terme est nécessaire. Elle a pour but de garantir, par des mesures préventives, la conservation de l'ouvrage (et d'éviter des pannes soudaines et non prévues), d'assurer la sécurité, de maintenir sous contrôle les atteintes à l'environnement, de chiffrer les coûts globaux

et de les minimiser dans le cadre des moyens financiers à disposition et de rendre possible l'intervention efficace du personnel d'entretien. En bref : faire ce qu'il faut, comme il faut.

3.2 Préalables à l'exécution des travaux de maintenance

3.2.1 Gestion du trafic

Tunnel routier

Le nombre des voies de roulement (2 à 6) et les variations de régime du trafic (mensuelles, hebdomadaires, journalières) déterminent s'il est possible de maintenir le trafic dans le tunnel pendant les travaux ou s'il faut prévoir des déviations. Les périodes avec peu de circulation sont propices aux travaux d'entretien dans l'espace réservé au trafic (« créneau d'intervention », voir chap. 4). Pour des raisons de trafic et de sécurité des travailleurs et des automobilistes, c'est surtout la nuit qui est intéressante pour l'exécution des travaux à cause bien sûr de l'interdiction de rouler faite aux camions et du trafic réduit des voitures.

Les méthodes et techniques d'exécution, l'organisation de la circulation et la sécurité du chantier doivent être adaptées de façon optimale aux conditions locales (trafic à sens unique, fermeture permanente ou partielle du tunnel, etc.).

Tunnel ferroviaire

Pour les tunnels à voie unique les travaux s'exécutent normalement pendant la nuit et durant le jour le trafic se déroule normalement (« créneau d'intervention », voir chap. 4). La déviation des derniers trains du soir et des premiers du matin (trafic régional) permet de prolonger l'intervalle nocturne.

Pour les tunnels à double voie, l'une est si possible fermée en permanence pour les travaux et le trafic des trains se fait en bidirectionnel sur la deuxième voie. Dans les longs tunnels à double voie avec possibilité de changement de voie (par exemple tunnel du Gothard, tunnel de base du Hauenstein), un tronçon

est fermé sur un côté seulement pour les travaux de maintenance (intervalle permanent) pendant que le reste du tunnel est utilisé sur les deux voies (« créneau d'intervention », voir chap. 4).

3.2.2 Installations de chantier

Pour établir dans le détail le projet de maintenance, il est nécessaire de poser comme conditions préalables les éléments particuliers à chaque tunnel : géologie, mode de construction du tunnel, géométrie, équipements électromécaniques. De plus les chantiers dans les tunnels ont des exigences plus élevées en ce qui concerne l'infrastructure :

- fourniture d'eau ;
- fourniture d'électricité ;
- éclairage ;
- ventilation (valeurs max. des concentrations sur le chantier, poussière, vitesse de l'air pas trop élevées pour le personnel d'entretien, etc.) ;
- sécurité sur le chantier, y compris prescriptions CNA ;
- épuisement et évacuation des eaux du chantier ;
- transport du personnel, des matériaux et des déblais, éventuellement transports spéciaux (par exemple ventilateur) ;
- bruit (valeurs limites selon CNA).

Des expériences ont démontré que pour l'entretien de parties constructives des tunnels les dépenses d'infrastructure des chantiers et les coûts supplémentaires imputables aux entraves peuvent atteindre jusqu'à 50 % de la dépense globale.

4. Planification de la maintenance d'ouvrages en tunnel

4.1	Aperçu	17
4.2	Tâches de la maintenance	18
4.2.1	Surveillance	18
4.2.2	Entretien	19
4.2.3	Renouvellement	19
4.2.4	Liste des tâches de la maintenance	20
4.2.5	Gestion des données	20
4.2.6	Ensemble de mesures d'entretien	20
4.3	Conditions cadres	21
4.3.1	Finances	21
4.3.2	Trafic dans les tunnels routiers	21
4.3.3	Trafic dans les tunnels ferroviaires	21
4.3.4	Environnement	22
4.3.5	Sécurité	22
4.3.6	Exécution des travaux	22
4.4	Concepts de maintenance	26
4.5	Plan de maintenance	27
4.6	Programme de maintenance	27
4.7	Programme des travaux	28
4.8	Contrôle et mise à jour de la planification de la maintenance	28

4. Planification de la maintenance d'ouvrages en tunnel

4.1 Aperçu

La planification de la maintenance des tunnels a pour but d'exécuter tous les travaux d'entretien et de rénovation relatifs à la construction et aux équipements électromécaniques de manière à :

- ce que le tunnel puisse être exploité à long terme en toute sécurité ;
- ce que les besoins en ressources puissent être saisis à moyen ou long terme et que l'exécution de l'entretien soit coordonnée avec la planification financière ;
- éviter la fermeture du tunnel pour cause de réparation ou correction de problèmes graves de sécurité ou de mauvais fonctionnements ;
- ce que la circulation dans le tunnel soit le moins possible entravée durant les travaux d'entretien ;
- ce que les travaux prévisibles de rénovation soient coordonnés avec la circulation et les autres travaux d'entretien tant sur le plan matériel que temporel ;
- à ce que les services d'entretien planifient efficacement l'engagement du personnel et des matériaux.

La planification de la maintenance des tunnels comporte les différentes phases suivantes (voir fig. 4.1) :

- 1) Recenser toutes les tâches de maintenance pour la période considérée. Celles-ci doivent tenir compte des exigences des plans de sécurité et d'utilisation, ainsi que du vieillissement et de la dégradation des ouvrages et des systèmes électromécaniques. La maintenance comprend toutes les tâches de la surveillance, de l'entretien et de la rénovation. Elles doivent être complétées et vérifiées d'après les inspections de l'état de l'ouvrage et l'expérience de l'exploitation.

La récolte de toutes les informations est indispensable. Ces informations concernent l'époque d'intervention, la fréquence, les besoins en main-d'œuvre, les coûts, etc. Il est usuel de regrouper ces informations par année civile.

- 2) Toutes les activités de maintenance doivent être exécutées à l'intérieur des conditions cadres, qu'imposent le trafic, les moyens financiers, l'environnement, la sécurité ainsi que la méthode d'exécution.

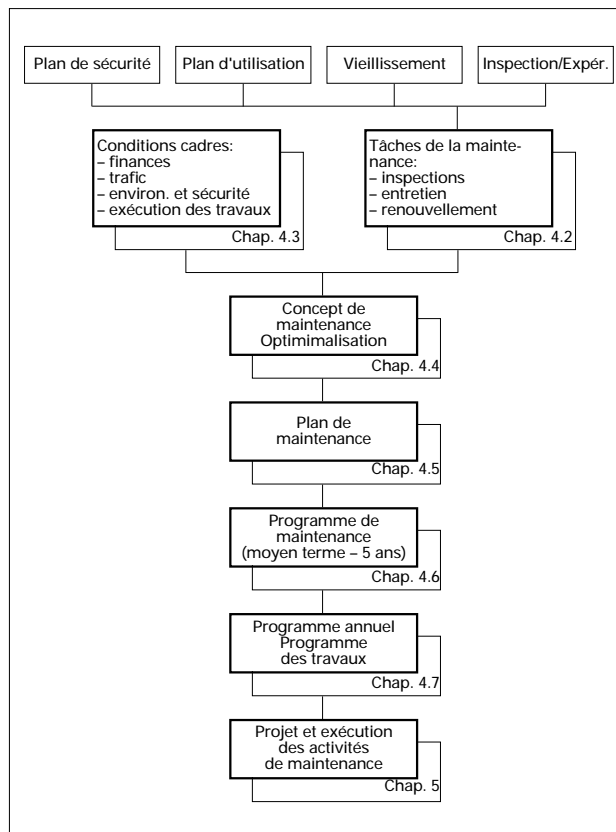


Figure 4.1: Les différentes phases de la planification de la maintenance

Pour le trafic, il faut déterminer les périodes creuses et établir avec quelle probabilité peuvent se produire des perturbations. Les moyens financiers à disposition ont un effet essentiel sur le standard que peut atteindre l'ouvrage et influencent le déroulement dans le temps. Les conditions cadres pour l'exécution des travaux englobent la sécurité au travail et l'organisation du chantier, les effectifs et le plan d'intervention des services d'entretien. Les travaux de maintenance et les perturbations du trafic concomitantes ont des incidences sur la sécurité du personnel d'entretien, des usagers, des riverains ainsi que sur l'environnement (bruit, pollution, etc.).

- 3) Elaborer différentes solutions pour le concept de maintenance, faisant part de différentes combinaisons d'exécution des travaux et de réglementation de la circulation ainsi que leurs effets sur les coûts, l'environnement et la sécurité.
- 4) Suite à l'évaluation des diverses solutions, un plan de maintenance est élaboré par optimisation. A long terme, il servira de base à la maintenance des tunnels.
- 5) Le programme de maintenance à moyen terme (plan quinquennal) dérive du plan de maintenance par compensation des charges annuelles.
- 6) Le programme annuel détaillé sert de base à la planification hebdomadaire ou mensuelle des travaux des services d'entretien.

La planification doit être sans cesse mise à l'épreuve et s'adapter aux expériences ou aux nouvelles constatations (c'est-à-dire que les phases 1 à 6 sont à répéter périodiquement).

Remarque:

Dans l'annexe A un exemple de planification de la maintenance est décrit concernant un tunnel CFF; dans l'annexe B figure un exemple pour un tunnel à deux voies du réseau routier national. Ces deux exemples se basent, de par la complexité des ouvrages en tunnels décrits, sur des planifications de maintenance très complètes et détaillées. Pour des ouvrages moins complexes et dans des conditions cadres plus simples, la planification de la maintenance peut se faire de manière plus succincte. Elle comporte néanmoins tous les points décrits ci-dessus.

4.2 Tâches de la maintenance

4.2.1 Surveillance

Les activités destinées à la surveillance des dispositifs découlent en premier lieu des plans de sécurité et d'utilisation des différents ouvrages. Pour les systèmes électromécaniques, les tâches de surveillance sont reprises d'après le plan de surveillance.

Dans le cas où ces plans ou les instructions du fournisseur sont incomplets ou font défaut, les plans

sont à élaborer d'après les expériences faites sur d'autres ouvrages ou l'expérience d'exploitation déjà vécue. Même en possession de plans de sécurité et d'utilisation, la surveillance doit se baser sur les expériences d'exploitation et être adaptée si nécessaire.

Pour les tunnels du réseau routier national, la surveillance relève, à teneur des directives OFR [2], de l'entretien spécialisé et de l'entretien courant. Ces tâches sont donc exécutées ou organisées comme d'autres activités de maintenance par les services d'entretien (voir Annexe A3).

Pour des tunnels de chemin de fer, les besoins de maintenance résultent essentiellement de la surveillance, notamment des inspections principales.

La surveillance continue (observation, contrôles visuels) englobe en général toutes les activités qui sont exécutées journalièrement ou au maximum annuellement par les services d'entretien afin de contrôler en permanence l'aptitude au fonctionnement (voir ci-dessous : niveaux de contrôle 1 et 2).

La surveillance périodique (inspections, auscultations) est exécutée par du personnel qualifié, souvent par des spécialistes externes. Elle englobe des examens généraux pour la détermination et l'appréciation de l'état de l'ouvrage et de son aptitude au service (voir ci-dessous : niveaux de contrôle 3 et 4).

L'exécution des inspections avec constat détaillé de l'état de l'ouvrage se fait soit globalement pour toutes les parties du tunnel (par exemple. inspection principale de tunnels de chemin de fer), soit séparément pour des parties d'ouvrage et systèmes électromécaniques (voir Annexe B6).

Avec une inspection visant des parties d'ouvrages ou des systèmes électromécaniques, le rythme de surveillance peut être adapté aux circonstances et les travaux peuvent être mieux intégrés dans le programme de maintenance.

Niveaux de contrôle

Les activités de la surveillance continue et de la surveillance périodique sont subdivisées selon leur importance, leur ampleur et les connaissances requises en quatre niveaux de contrôle :

Niveau de contrôle 1 (observation, contrôles visuels): exécution par le service d'entretien des tunnels dans le cadre de l'entretien courant. Pour les tunnels routiers, ces contrôles sont souvent liés aux travaux de nettoyage. Il n'est pas dressé un procès-verbal, mais avis est transmis au service d'exploitation ou au service d'entretien supérieur en cas de constat de dégâts importants, de problèmes de sécurité ou d'anomalies.

Niveau de contrôle 2 (contrôles): exécution par le service d'entretien des tunnels dans le cadre de l'entretien courant ou des contrôles annuels. Ces contrôles peuvent être combinés avec des travaux d'entretien courant ou spécialisé. Les constatations de l'état de l'ouvrage (aussi des résultats positifs) font l'objet d'un procès-verbal sommaire.

Niveau de contrôle 3 (inspections, auscultations): surveillance de l'état de l'ouvrage par des cadres spécialement formés ou par des ingénieurs spécialisés. Les surveillances se font selon un cahier des charges, normalement dans le cadre de l'entretien courant. Le procès-verbal du constat est traité sur support électronique ou reporté sur des checklists préparées à cet effet. L'analyse de ces résultats comporte une comparaison avec des constats antérieurs ainsi qu'une évaluation de l'état de l'ouvrage et des propositions de mesures à prendre.

Niveaux de contrôle 4 (inspections spéciales): examens exécutés par des spécialistes, fabricants ou fournisseurs. Ces examens se font d'habitude après des événements extraordinaires. Des examens importants peuvent être réalisés comme mesures de l'entretien de la construction [2]. Il sera procédé à des examens plus ou moins approfondis selon l'importance de la partie d'ouvrage et selon les conséquences possibles d'une défaillance. Le compte-rendu se fait sous forme de rapport et contient une appréciation de la situation et des recommandations.

Mesures découlant des contrôles

Suite à l'analyse des résultats de la surveillance, les mesures suivantes peuvent être prises:

- examen détaillé par des spécialistes ou des experts (niveau de contrôle supérieur);
- mesures urgentes pour garantir la sécurité du trafic;

- intensification ou ralentissement des contrôles (avec changements dans la liste des besoins de maintenance);
- moyens de mesures pour la surveillance périodique ou continue;
- prescription de mesures d'entretien;
- redéfinition dans le temps des activités d'entretien et de rénovation.

4.2.2 Entretien

Les travaux d'entretien des installations découlent des plans de sécurité et d'utilisation pour les différents ouvrages. Les travaux de maintenance des systèmes électromécaniques doivent être complétés par les résultats de la surveillance et les rapports sur les pannes et dérangements.

Dans le cas où des plans sont incomplets et qu'il manque des instructions des fournisseurs, les plans sont à élaborer à partir des expériences faites sur d'autres ouvrages comparables ou en fonction des expériences d'exploitation connues à ce jour. La planification et l'exécution de l'entretien sont à compléter et à adapter périodiquement selon les recommandations issues des contrôles.

L'entretien courant est fait par le service d'entretien des tunnels, soit avec son personnel, soit avec l'appui de personnel externe. L'organisation et la direction sont assumées par le service d'entretien. Certains travaux spéciaux sont partiellement exécutés dans le cadre de contrats d'entretien et dirigés par ledit service.

L'entretien spécialisé est exécuté pour une partie par le service d'entretien lui-même, tandis qu'une autre partie des tâches est exécutée par des maîtres d'état, des fournisseurs ou des entrepreneurs sur la base de commandes et de contrats d'entreprise ou de services.

Les tâches typiques de l'entretien figurent dans l'annexe D3.

4.2.3 Renouvellement

Les travaux de renouvellement (rénovation) dus au vieillissement et à l'usure sont définis par les expériences de la longévité des différentes parties d'ouvrage et systèmes électromécaniques des tunnels. Ils sont vérifiés par la surveillance.

Des valeurs indicatives pour l'estimation de la longévité viennent des expériences faites sur d'autres ouvrages comparables. De plus, il faut prendre en considération l'influence des conditions locales et des sollicitations effectives. Des indications supplémentaires sur la longévité découlent :

- des temps d'amortissement (longévité minimale) d'installations et parties d'ouvrage [10];
- des indications sur les temps de fonctionnement d'équipements électromécaniques
- de la possibilité d'obtenir des pièces de rechange et des travaux de service pour des systèmes électroniques particuliers;
- du temps entre le développement de deux générations de systèmes électriques et électroniques;
- des modifications de la législation et la mise en vigueur de nouvelles normes.

Des travaux typiques de rénovation figurent dans l'annexe D3.

Les travaux de rénovation sont en général exécutés par des entreprises privées sur la base de contrats d'entreprise et de projets approuvés. Les services d'entretien veillent à donner des instructions sur l'ouvrage.

4.2.4 Liste des tâches de la maintenance

La liste des besoins de maintenance contient toutes les tâches de la surveillance, de l'entretien et du renouvellement de toutes les parties d'un tunnel (gros œuvre, équipement, construction en acier, installations mécaniques, ventilation, équipements électriques). Pour chaque tâche, elle contient les informations suivantes :

- a) attribution à l'ouvrage, descriptif de la partie d'ouvrage (définir les limites du système);
- b) localisation;
- c) description des tâches, domaine d'application;
- d) moment d'exécution et de la fréquence de l'intervention;
- e) durée de l'intervention sur l'ouvrage et entraves à la circulation;
- f) besoins en main-d'œuvre des services d'entretien et main-d'œuvre externe;
- g) coût de l'opération, si nécessaire devisé selon un plan comptable;

- h) indications supplémentaires comme par exemple : attribution selon les directives OFR [2] et les priorités d'exécution;
- i) planification des travaux d'entretien (planning annuel en semaines). Cette liste des tâches de la maintenance doit être vérifiée et adaptée régulièrement selon les expériences et connaissances acquises.

Indication :

Pour l'élaboration des concepts de maintenance, il est moins important de détailler à l'extrême les besoins (cela fait l'objet des check-lists des diverses activités) que de relever toutes les tâches qui influencent la circulation, les ressources en matériel ou en personnel et d'estimer les coûts.

4.2.5 Gestion des données

La gestion de toutes les informations concernant les tâches de la maintenance dans une banque de données électronique, éventuellement combinée avec un progiciel, facilite l'élaboration et l'appréciation de différentes variantes de concepts d'entretien, l'adaptation en fonction de nouvelles connaissances ainsi que l'élaboration des programmes de maintenance à moyen et à long termes. Une gestion interactive de l'introduction des données, des mutations et compléments ainsi que des sorties permet la saisie des données souvent très volumineuse.

4.2.6 Ensemble de mesures d'entretien

Les tâches de la maintenance de tous les domaines sont regroupées dans des ensembles de mesures d'entretien, qui doivent être exécutées en relation les unes avec les autres pour des raisons techniques, locales ou de main-d'œuvre.

De cette façon, il est possible d'optimiser le déroulement des travaux de l'entretien courant. Pour l'entretien spécialisé et pour le renouvellement, on atteint ainsi un échelonnement dans le temps et une coordination réciproque des travaux.

4.3 Conditions cadres

4.3.1 Finances

En général, les conditions financières sont le facteur le plus important pour la maintenance. Cette tendance devrait encore s'accroître à l'avenir. Les exigences minimales doivent viser à ce que chaque franc permette d'atteindre le meilleur état possible de l'ouvrage. C'est pourquoi la planification de la maintenance doit mettre en évidence quel état on veut atteindre, avec quels moyens financiers et comment, c'est-à-dire avec quelles mesures et dans quel ordre de priorité, on atteindra cet état.

4.3.2 Trafic dans les tunnels routiers

Une partie importante des travaux de maintenance se déroulent dans la galerie routière des tunnels et influencent par conséquent le déroulement normal du trafic.

Les recensements de trafic avec les pronostics de l'évolution de la circulation globale et celle du trafic lourd sont une base importante pour la planification de la maintenance. À part les pronostics les plus probables, il faut également prendre en considération les valeurs extrêmes de l'évolution du trafic dans les différents concepts de maintenance.

Le nombre possible de jours (ou nuits), pendant lesquels des travaux de maintenance peuvent être exécutés dans le gabarit d'espace libre est déterminé par l'ampleur du trafic, la capacité de déviation et le degré de tolérances aux entraves à la circulation (voir fig. 4.2.)

Dans les tunnels à deux voies surtout, les travaux de maintenance qui perturbent la circulation doivent être entrepris pendant les périodes de faible trafic s'il n'est pas possible de dévier le trafic simplement. Selon l'importance de ces travaux, le gabarit d'espace libre est utilisé différemment soit dans l'espace soit dans le temps. Pour parler un langage imagé, il s'agit de prévoir des créneaux dans le trafic et de planifier pendant ce laps de temps l'entretien dans la galerie routière. On parle donc ici de « créneau d'entretien ». Celui-ci est défini comme la fermeture géographique et temporelle d'une partie de la galerie routière pour les besoins de l'entretien (exemple: pour un tunnel routier à deux voies, voir tableau 4.3).

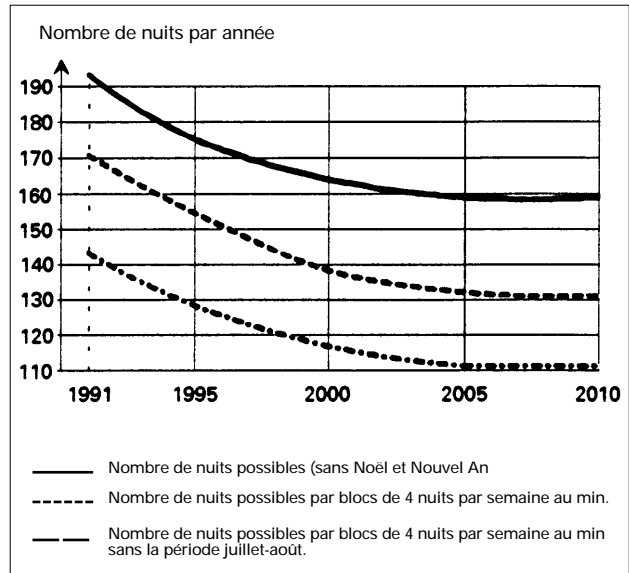


Figure 4.2: Nombre de nuits par année pendant lesquelles les travaux de maintenance dans le gabarit d'espace libre sont possibles sans bouchon insupportable (exemple)

4.3.3 Trafic dans les tunnels ferroviaires

Le trafic ferroviaire des tunnels ne peut être dévié à court terme. Les activités de maintenance dans le gabarit d'espace libre des tunnels influencent, dans la majorité des cas, le trafic et par conséquent l'horaire.

Dans les tunnels à double voie, les travaux de maintenance sont exécutés selon leur importance dans des intervalles diurnes ou nocturnes (fermeture d'une voie pour des équipes de travail) ou par la fermeture permanente d'une voie (créneaux d'entretien, voir tableau 4.4). Pour ce faire, tout le trafic est dévié sur la deuxième voie.

Pour les tunnels à voie unique, les travaux de maintenance sont en général à exécuter pendant la pause nocturne, car le trafic normal doit être assuré pendant la journée. Pour que l'intervention soit malgré tout efficace, les derniers trains sont, si possible, déviés ou remplacés par des bus (créneaux d'entretien, voir tableau 4.5). Comme ces mesures ont dans la plupart des cas des incidences sur les horaires, elles doivent être annoncées assez à l'avance (2 à 3 ans).

4.3.4 Environnement

La gestion du trafic ainsi que les activités de maintenance ont une influence sur l'environnement. Par exemple, le lavage des tunnels a une incidence directe sur les eaux. La fermeture temporaire des tunnels, avec déviation du trafic pour les tunnels routiers (transfert et supplément de charges pour l'air et le bruit) entraînent des incidences indirectes.

Les réglementations pour les charges sur l'environnement doivent toujours être respectées et les charges totales réduites autant que possible. On doit s'attendre à des incidences accrues sur l'environnement surtout pendant les activités de maintenance dans les tunnels routiers.

4.3.5 Sécurité

Les travaux sous trafic dans les tunnels routiers et ferroviaires entraînent non seulement un danger d'accident accru pour le personnel et les usagers mais également une augmentation de la pollution de l'air et des nuisances dues au bruit. Les valeurs CNA des concentrations sur le chantier (valeurs maximales) doivent être contrôlées et respectées. Pour des travaux importants, une attention particulière sera vouée, en établissant le plan de maintenance, à l'organisation du chantier avec déviations du trafic.

4.3.6 Exécution des travaux

La planification à long terme de l'engagement du personnel se base sur les travaux d'entretien courant et spécialisé que doivent exécuter les services d'entretien.

Les travaux de l'entretien courant sont effectués par les services d'entretien concernés, soit par leur propre personnel, soit par du personnel externe.

Dans les tunnels routiers, les travaux de l'entretien spécialisé sont exécutés par les services d'entretien eux-mêmes ou surveillés par ceux-ci en cas d'adjudication des travaux à des entreprises tierces. Les travaux de renouvellement sont exécutés par des entreprises externes et les services d'entretien veillent à donner des instructions sur l'ouvrage. Etant donné que les services d'entretien doivent assurer, en temps normal, des tâches supplémentaires (service de piquet, pompiers, service central,

entretien d'autres tronçons), il n'y a plus qu'une partie de leur capacité de travail disponible pour les travaux de maintenance.

Des réflexions analogues sont en général valable également pour les tunnels ferroviaires. En cas d'adjudication des travaux à des tiers, les activités de base tels que les transports etc. sont fournis par les services spécialisés des compagnies ferroviaires. De même, la planification, la réalisation et l'exécution du concept de sécurité restent du ressort des services spécialisés. La coordination optimale des travaux entre les tiers et les services spécialisés est indispensable.

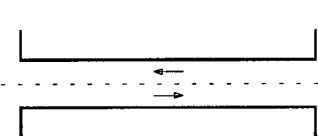

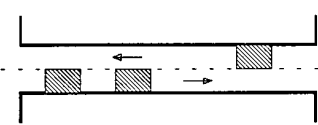

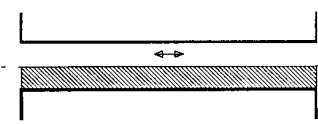


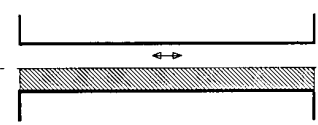

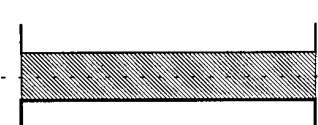


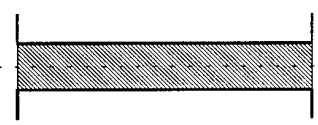
	Remarques	Capacité en véhicules (vhc) par heure et par direction, tunnel et déviation comprise
	Aucune perturbation Trafic libre dans le tunnel	1000 vhc par le tunnel
Déviation	Déviation du trafic	570 vhc de jour avec camions 720 vhc de nuit sans camions
Créneau d'entretien type I  	3 chantiers isolés dans le tunnel Exécution des travaux sous trafic	400 vhc par le tunnel
Créneau d'entretien type II  	De nuit, une piste fermée, l'autre utilisée en alternance chaque heure Exécution des travaux sous trafic	350 vhc par le tunnel en plus de la déviation
Créneau d'entretien type III   	Jour et nuit, une piste fermée, l'autre utilisée en alternance chaque heure Exécution des travaux sous trafic	350 vhc par le tunnel en plus de la déviation
Créneau d'entretien type IV  	De nuit, tout le tunnel fermé, déviation Exécution des travaux sans trafic	720 vhc de nuit, sans camions, par la déviation
Créneau d'entretien type V   	Tunnel fermé pendant 24 heures, déviation Exécution des travaux sans trafic	570 vhc, de jour, avec camions, par la déviation 720 vhc, de nuit, sans camions, par la déviation

Figure 4.3: Exemples de créneaux d'entretien pour un tunnel routier à double voie et les capacités de trafic correspondantes

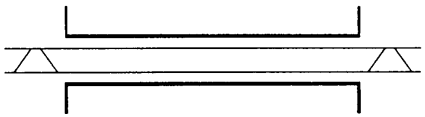

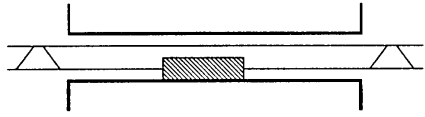

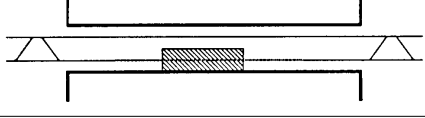

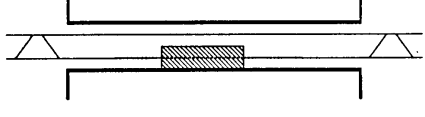

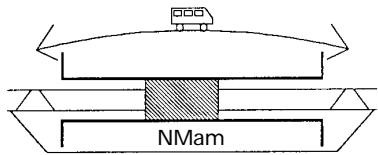

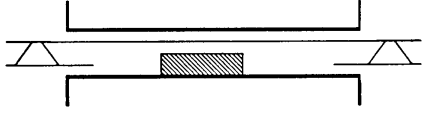

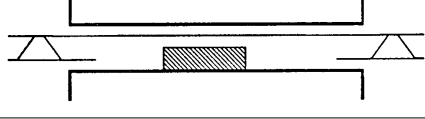
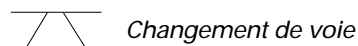
	Trafic	Travaux de maintenance
	Aucune perturbation Trafic libre	
Créneau d'entretien type I  	Aucune perturbation	Travaux extérieurs aux installations ferroviaires Interruption des travaux à l'approche des trains Installation d'alarme
Créneau d'entretien type II  	Ralentissement	Travaux sur les installations ferroviaires Interruption des travaux à l'approche des trains Installation d'alarme
Créneau d'entretien type III  	Une voie reste en service	Travaux d'un côté du tunnel Installation d'alarme
Créneau d'entretien type IV   NMam	Prolongation de l'intervalle de nuit Déviation des trains ou remplacement par bus	Aucune perturbation
Créneau d'entretien type V  	Fermeture d'une voie Trafic sur une voie	Travaux de maintenance de la voie Eventuellement plusieurs équipes
Créneau d'entretien type VI  	Fermeture d'une voie Trafic sur une voie avec ralentissement	Travaux de maintenance de la voie Eventuellement plusieurs équipes

Figure 4.4: Exemples de créneaux d'entretien pour un tunnel ferroviaire à double voie



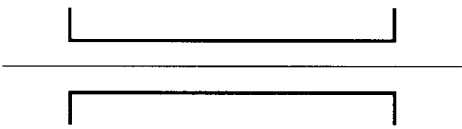
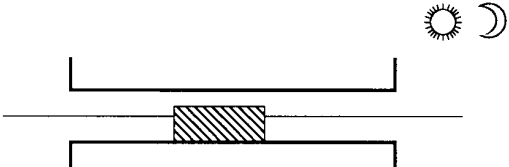
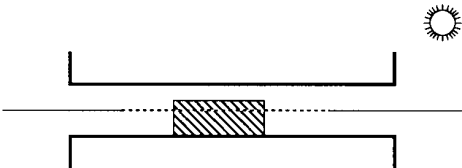
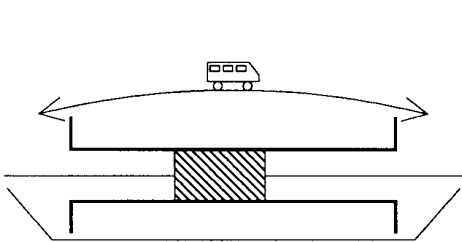
	Trafic	Travaux de maintenance
	Aucune perturbation Trafic libre	
<p>Créneau d'entretien type I</p> 	Aucune perturbation	Travaux extérieurs aux installations ferroviaires Interruption des travaux à l'approche des trains Installation d'alarme
<p>Créneau d'entretien type II</p> 	Ralentissement	Travaux sur les installations ferroviaires Interruption des travaux à l'approche des trains Installation d'alarme
<p>Créneau d'entretien type III</p> 	Prolongation de l'intervalle de nuit Déviation des trains ou remplacement par bus	Aucune perturbation pendant les périodes sans trafic

Figure 4.5: Exemples de créneaux d'entretien pour un tunnel ferroviaire à voie unique

4.4 Concepts de maintenance

La totalité des tâches de la maintenance peut se dérouler de différentes manières à l'intérieur des conditions cadres établies. Ainsi différentes solutions pour l'organisation de la maintenance sont possibles.

Pour des tunnels routiers, il est essentiel de considérer :

- l'étendue et la nature des perturbations du trafic planifiées pour l'exécution des travaux de maintenance (nature et nombre de créneaux d'entretien) ;
- la mise à contribution du personnel et du matériel des services d'entretien. D'habitude, on s'efforce, pour les travaux d'entretien normal, de maintenir constant le degré d'occupation des services et de disposer d'une réserve de capacité pour les travaux d'entretien spécialisé. Le reste des travaux ainsi que le renouvellement seront exécutés par des entreprises mandatées.
- les conditions de travail (accessibilité, restrictions pour l'organisation du travail, pollution de l'air, émissions de bruit) ainsi que leurs conséquences sur la durée et les coûts des travaux. Des travaux importants peuvent être exécutés plus efficacement (temps de construction plus court, moins de personnel, coûts inférieurs) si le tunnel est fermé à la circulation.

Pour les tunnels ferroviaires, il est essentiel de considérer :

- l'étendue et la nature des perturbations du trafic pour l'exécution des travaux de maintenance. Ici, il faut également prendre en considération des changements d'horaire, car ceux-ci nécessitent éventuellement une planification sur plusieurs années. Les travaux sont donc à mettre au programme dans les périodes d'horaires correspondantes ;
- outre les travaux de maintenance de l'entretien spécialisé et du renouvellement des parties constructives de l'ouvrage, restent à exécuter les travaux d'entretien courant des installations ferroviaires. La planification de ces derniers concerne les installations des tronçons complets et non seulement du tunnel lui-même ;
- mise à contribution du personnel et du matériel des services d'entretien. Normalement, les travaux d'entretien sur les installations ferroviaires

sont exécutés par les services spécialisés eux-mêmes. Les travaux d'entretien et de renouvellement des ouvrages sont assumés par des entreprises spécialisées mandatées ;

- les conditions de travail dans le tunnel (accessibilité, directives de sécurité) et leurs conséquences sur la durée des travaux et sur les coûts : des travaux importants peuvent être exécutés plus efficacement (temps de construction plus court, moins de personnel, coûts inférieurs) si le tunnel est fermé à la circulation. Ceci n'est réalisable que très rarement aujourd'hui à cause de l'occupation des tronçons.

Optimalisation

Les différents concepts de maintenance sont à évaluer selon leurs avantages ou inconvénients. Pour des tunnels routiers et ferroviaires, il faut considérer les critères d'évaluation suivants :

- les coûts pour la maintenance et l'exploitation ;
- l'état de l'ouvrage souhaité ou accessible à long terme (maintien de l'état initial, amélioration ou adaptation à des exigences plus élevées, conservation de l'ouvrage, diminution acceptée à long terme de la valeur initiale de l'ouvrage) ;
- les perturbations du trafic (perte de temps et détours) ;
- sécurité du personnel d'entretien et des usagers des tunnels. Pour des déviations du trafic, tenir compte en outre du danger que peuvent courir des tiers ;
- l'atteinte à l'environnement (bruit, pollution pour les usagers et le personnel d'entretien et pour des tiers en cas de déviation) ;
- les conditions cadres rigides à teneur des lois, prescriptions et ordres de service spéciaux.

Le but de l'optimalisation est d'analyser les différentes solutions de maintenance avec les critères respectifs et de déterminer la meilleure solution dans un plan de maintenance global. Une partie de ces critères doit satisfaire à des limitations fixées (par exemple : charges pour l'environnement, valeurs maximales des concentrations sur le chantier). Quant aux autres critères ils servent à minimiser les effets négatifs.

4.5 Plan de maintenance

Une fois la meilleure solution choisie par l'optimisation des concepts de maintenance, on définit le plan de maintenance à long terme (max. 20 à 25 ans). Celui-ci contient si possible :

- la définition générale des tâches de maintenance et la période de leur exécution (dans la liste des tâches de la maintenance) ;
- les coûts pour la planification et la réalisation des tâches de maintenance (voir fig. 4.6) ;
- la mise à contribution des services d'entretien (voir fig. 4.6) ;
- la régulation du trafic pendant les travaux ;
- toute autre définition nécessaire à la réalisation du plan général.

Le plan de maintenance est la base du programme de maintenance.

4.6 Programme de maintenance

Le programme de maintenance pour des tunnels routiers est établi à moyen terme et se base sur le plan de maintenance. Dans les plans financiers à moyen terme, l'harmonisation de la durée aboutit, par exemple à un plan quinquennal des mesures de maintenance. Le programme de maintenance contient les affinements suivants du plan de maintenance à long terme :

- a) l'équilibrage sur l'année de pointes périodiques du trafic, de l'occupation des services d'entretien et des budgets de fonctionnement et d'entretien ;
- b) le partage des tâches importantes de maintenance en prestations partielles (projet, travaux préliminaires, exécution) et échelonnement de celles-ci sur plusieurs années selon la programmation ;
- c) la prise en considération de changements apportés aux mesures planifiées à long terme, par exemple suite aux résultats de la surveillance.

Le programme de maintenance pour des tunnels ferroviaires est établi à plus long terme et ne diffère que faiblement du plan de maintenance. Il est particulièrement dépendant de la gestion du trafic à cause des modifications d'horaires souvent néces-

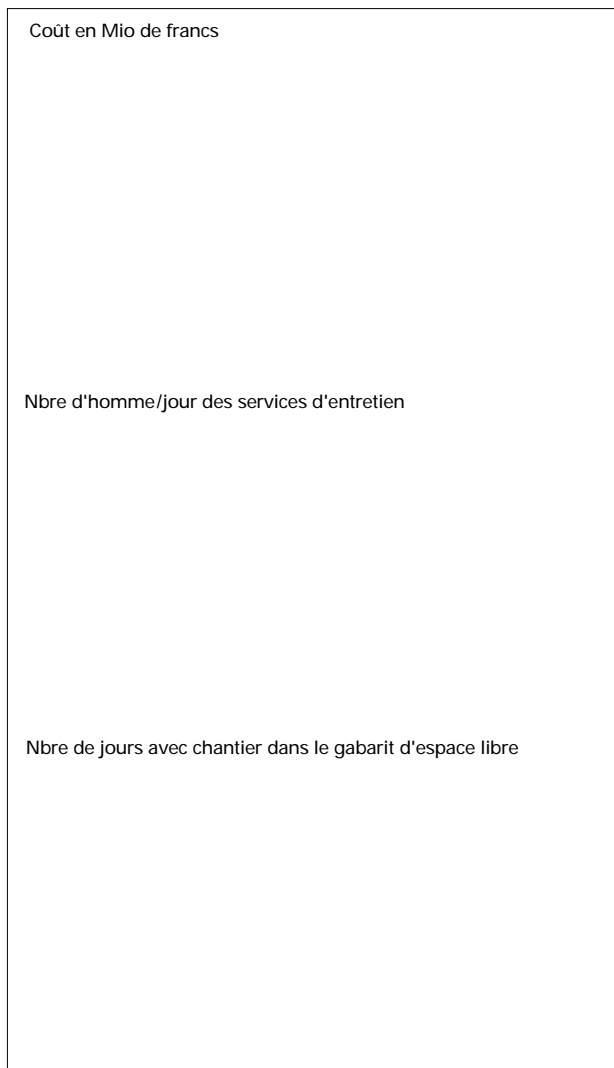


Figure 4.6: Exemple d'un plan de maintenance à long terme (extrait). Chantiers dans le gabarit d'espace libre, occupation du personnel des services d'entretien, coûts

saies. La planification du budget joue un grand rôle. Une mise en œuvre à court terme de travaux de maintenance supplémentaires est généralement exclue.

Il ne faut pas oublier que chaque coupe dans le budget par rapport aux demandes du plan de maintenance conduit à diminuer les activités d'entretien. Si des tâches de maintenance sont repoussées pen-

dant plusieurs années, le programme suivant devra les rattraper. Les conséquences de ces retards augmentent les perturbations du trafic et les risques de défaillances et entraînent des remises en état non planifiées. Enfin, la dégradation de l'ouvrage en tunnel requiert une rénovation complète avant échéance. Ces travaux ont sur les fermetures au trafic et sur les coûts, des effets analogues à ceux d'une construction nouvelle.

4.7 Programme des travaux

Partant du programme de maintenance à moyen terme (par exemple : 5 ans), on établit le programme annuel. Les services d'entretien s'en servent pour élaborer leurs programmes des travaux.

Travaux de l'entretien courant

A partir du programme annuel des travaux, les services d'entretien élaborent les programmes hebdomadaires ou mensuels qui englobent :

- la planification du trafic, de la signalisation et les installations de sécurité ;
- la planification de l'engagement du personnel et du matériel ;
- l'acquisition de matériel et la gestion des pièces de rechange,
- la préparation des travaux et l'instruction du personnel des services d'entretien et du personnel externe ;
- la conduite des travaux et le contrôle de qualité ;
- les mesures nécessaires à la sécurité sur le chantier.

Mesures de l'entretien spécialisé et du renouvellement

A partir du programme annuel, les mesures de maintenance de l'entretien spécialisé et du renouvellement sont planifiées.

Ces activités englobent :

- la description détaillée des tâches ;
- les diagnostics complémentaires de l'ouvrage et la mise à jour des documents ;
- l'avant-projet ;

- la coordination du trafic/de l'horaire ;
- les planification et installation de dispositifs de sécurité ;
- le projet ;
- l'approbation des mesures ;
- la mise en soumission et l'adjudication ;
- l'exécution des travaux (avec les tâches partielles comme pour l'entretien courant) ;
- la documentation et les travaux de finition.

4.8 Contrôle et mise à jour de la planification de la maintenance

La planification de la maintenance nécessite une mise à jour permanente. Cela implique :

- le relevé des travaux de maintenance exécutés, de la dépense de temps, de personnel et des coûts ;
- la replanification de travaux de maintenance non exécutés ;
- l'intégration des modifications qui résultent de la surveillance ;
- l'affinement de l'attribution à des ensembles de mesures d'entretien pour optimiser la planification et les travaux.

En général, les plans de sécurité et d'utilisation doivent être revus en fonction des résultats de la surveillance. Les modifications de ces plans sont à intégrer continuellement dans la planification de la maintenance. Lors de modifications importantes, les conséquences sur le plan de maintenance à long terme sont à contrôler.

5. Techniques spécifiques aux tunnels

5.1	Remarques préliminaires	31
-----	-------------------------	----

5.2	Rénovation d'un tunnel ferroviaire à voie unique (Stadttunnel CFF à Zoug)	31
5.2.1	Situation initiale	31
5.2.2	Conditions cadres pour l'exécution des travaux	32
5.2.3	Concept	33
5.2.4	Exécution	34

5.3	Rénovation d'un tunnel ferroviaire à deux voies (tunnel CFF du Rohrbach)	35
5.3.1	Situation initiale et données du problème	35
5.3.2	Conditions cadres pour l'exécution des travaux	36
5.3.3	Concept	36
5.3.4	Exécution	38

5.4	Remise en état de la voûte (tunnels d'accès au Gothard, N2)	39
5.4.1	Situation initiale	39
5.4.2	Concept	40
5.4.3	Exécution	40

5.5	Remplacement partiel de la dalle intermédiaire (tunnel routier du Gothard, N2)	42
5.5.1	Situation initiale	42
5.5.2	Mesures d'urgence	42
5.5.3	Recherche de l'origine du dommage et concept de remise en état	42
5.5.4	Exécution	42
5.5.5	Autres travaux	44

5.6	Gestion du trafic pendant les travaux d'entretien (tunnel du Belchen, N2)	45
5.6.1	Situation initiale	45
5.6.2	Constat et évaluation	45
5.6.3	Concept	47
5.6.4	Gestion du trafic	47

5.7	Montage d'un chemin de câbles dans le canal de ventilation (tunnel du Belchen, N2)	48
5.7.1	Situation initiale	48
5.7.2	Concept	49
5.7.3	Exécution	50
5.7.4	Premières expériences	50

5. Techniques spécifiques aux tunnels

5.1 Remarques préliminaires

Par «spécifiques aux tunnels», on entend non seulement les travaux sur les parties constructives des tunnels (la pratique nous montre qu'elles nécessitent beaucoup d'entretien), mais aussi les mesures qui exigent des techniques particulières dues aux restrictions et aux conditions spéciales des tunnels. Nous ne reviendrons pas ici sur les méthodes de travail usuelles au génie civil, comme par exemple la réfection du béton, la réfection des joints, ou le renouvellement des revêtements, qui trouvent naturellement aussi leur application dans les tunnels.

Le choix de la technique est conditionné par l'endroit où doit être mise en œuvre telle ou telle mesure :

- dans la galerie routière où les travaux sont une entrave directe au trafic ;
- dans les canaux de ventilation, les puits et autres endroits où les travaux peuvent porter atteinte à l'exploitation normale du tunnel ;
- dans les zones où l'exploitation du tunnel n'est pas ou que très faiblement entravée.

Les conditions les plus restrictives sont les limitations de temps et d'espace. C'est pourquoi il faut en premier lieu favoriser les procédés qui peuvent être mis en œuvre dans des espaces restreints et de façon plus ou moins linéaire. D'autre part il est avantageux de planifier et d'organiser les travaux sous forme de chantiers mobiles et cadencés, en respectant les interruptions imposées par le trafic (par exemple travail de nuit) et en limitant dans le temps l'intervention des équipes (mauvaise qualité de l'air). Ces restrictions entraînent que, dans certains cas, le mode d'exécution des travaux a plus d'importance que les impératifs du projet.

La préfabrication trouve ici une application intéressante. Elle a l'avantage de déplacer autant que possible les travaux à l'extérieur du tunnel et donc de réduire le temps d'exécution et de montage en tunnel.

Dans beaucoup de cas il est indiqué de concevoir des équipements et des installations spécifiques aux tâches à exécuter qui soient montables et démontables rapidement, comme par exemple des palissades qui séparent le chantier de la voie de circulation ou des échafaudages mobiles.

Les exemples qui suivent donnent un aperçu des méthodes et techniques utilisées aujourd'hui pour le projet et l'exécution des travaux de rénovation dans les tunnels routiers et ferroviaires.

5.2 Rénovation d'un tunnel ferroviaire à voie unique (Stadttunnel CFF à Zoug)

5.2.1 Situation initiale

Généralités: le Stadttunnel de Zoug, à voie unique, mis en service en 1896, se trouve sur la ligne très fréquentée du Gothard, Zurich – Zoug – Goldau, et passe sous la vieille ville de Zoug avec des recouvrements très faibles sur la voûte de 1.5 m à 15 m.

Géologie: le tunnel est situé dans la moraine du Würm et affleure côté montagne sur quelques mètres la molasse décomposée et déportée qui, au temps des dépôts morainiques, s'est probablement détachée et a glissé de plus haut. La moraine est principalement composée de sables limoneux à limono-argileux très sensibles à l'eau. Le rocher proprement dit est de la molasse d'eau douce supérieure qui n'a été atteinte qu'à une profondeur de 20m environ.

Historique: le tunnel ferroviaire a été construit entre 1895 et 1896. Il était initialement prévu d'exécuter 490.5 m du tunnel en souterrain et 23.5 m à ciel ouvert. Pendant la construction des conditions géologiques défavorables et des glissements de terrain ont rendu nécessaire le prolongement du tunnel, par rapport au projet, d'environ 56 m côté nord et d'environ 15 m côté sud. La longueur totale du tunnel est de ce fait de 585 m.

Le transport du matériel et des matériaux de construction a dû se faire en grande partie par des puits verticaux. Des roches formées d'argiles gonflantes et de sables fluents ont créé des difficultés supplémentaires. De fortes venues d'eau ont entravé l'avancement des travaux et en janvier 1896 des éboulements ont entraîné une longue interruption. Le tunnel fut électrifié en 1922.

Remise en état: dans les années 1922 – 1923, le piedroit côté montagne, situé dans la zone de

molasse déportée, qui s'était déplacé de 60 cm vers l'intérieur, a du être remplacé et raidi par un radier voûté sur 42 m.

Etat du tunnel : après bientôt un siècle d'exploitation sans travaux de rénovation notables (exception faite du raidissement du piédroit et de l'électrification), l'ouvrage présentait au début des années 80 les défauts et dommages suivants, qui exigèrent des travaux d'envergure (voir fig. 5.1) :

- Infiltration d'eau à travers le revêtement maçonné : l'eau pénétrant à travers les joints de la maçonnerie portait préjudice à la ligne de contact ainsi qu'au ballast et formait en hiver une carapace de glace importante sur les parois. Ces dernières réduisaient par endroit le profil.
- Mortier des joints dégradé et délavé : l'eau et le gel ont altéré et délavé le mortier des joints de la maçonnerie au fil des ans. Le mortier manquant a occasionné un affaiblissement croissant de l'ensemble du revêtement. Le remplissage derrière la maçonnerie, principalement en clé de voûte, était partiellement délavé.
- Mécanismes de compression, fissures et éclatements de la maçonnerie : ces dégâts montraient clairement les mouvements du revêtement en maçonnerie que provoquait la poussée du massif. L'analyse des mesures des déformations faites régulièrement depuis 1932 montrait un rétrécissement annuel au niveau des piédroits de l'ordre de 0.4 à 0.9 mm.
- Par endroit, envahissement de la maçonnerie par des champignons (mérules) : le boisage laissé derrière le revêtement lors de l'avancement des travaux a servi de milieu nutritif pour les champignons. Au cours des ans ces champignons ont détruit les joints de maçonnerie et se sont propagés à la surface extérieure de la voûte.
- Eau dans le radier/nappe phréatique : la rigole de drainage était située trop haut et n'était pas capable d'évacuer les eaux du massif (le niveau de la nappe est environ 60 à 100 cm au-dessous de l'arête supérieure des traverses). Il en a résulté le ramollissement du fond et le remplissage du ballast par des fines. Ceci a rendu l'assiette de la voie instable et a exigé un entretien accru.
- Gabarit insuffisant et ligne de contact trop basse : le gabarit disponible ne répondait plus aux exigences actuelles. Le niveau de la ligne de contact était par endroit inférieur au minimum prescrit.

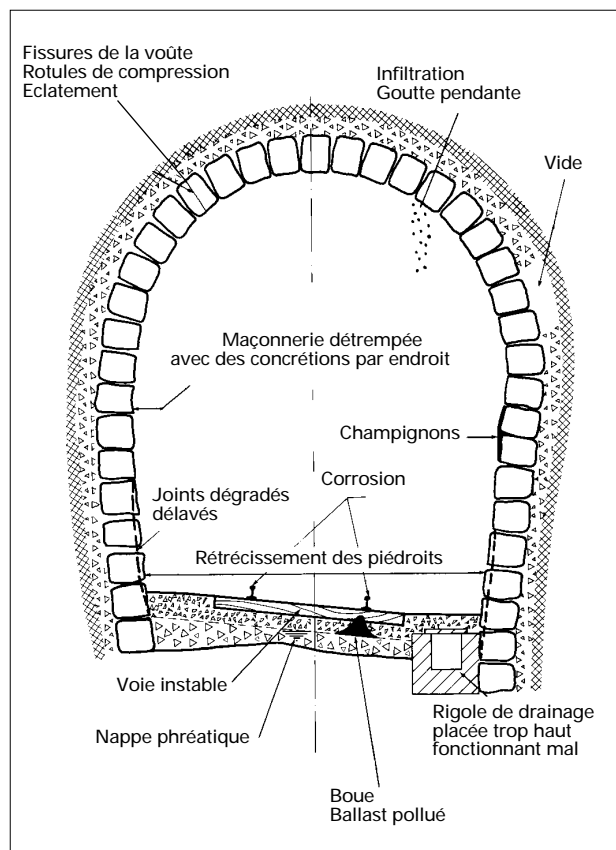


Figure 5.1: Stadttunnel CFF à Zoug: dommages et défauts

5.2.2 Conditions cadres pour l'exécution des travaux

Planification des créneaux : sur cette ligne fortement fréquentée, la circulation des trains ne pouvait pas être suspendue pendant les travaux qui devaient dès lors être exécutés de nuit durant l'interruption de trafic. Du fait de la brièveté des interruptions de trafic (un peu plus de 4 heures), l'horaire a dû être adapté pour permettre une exécution économiquement supportable des travaux.

En prévision du chantier, c'est au changement d'horaire 1991 que l'adaptation fut faite de manière à disposer d'une durée de travail d'environ 8,5 heures.

Il en a résulté pour l'exploitation la déviation respectivement le transfert sur bus de 7 trains par jour. Ces mesures concernaient entre autres les trains Zurich – Milan et durent être programmées suffisamment tôt.

Mesures de sécurité: pour la sécurité du personnel et pour garantir une exploitation régulière des installations ferroviaires, différentes dispositions de sécurité ont été prévues:

- des dispositifs d'avertissement automatique avec alarme sonore et gyrophare. Ces dispositifs servaient pendant les travaux et pour les visites de contrôle en dehors de l'interruption nocturne du trafic;
- des protecteurs, en plus des installations automatiques, étaient responsables de la sécurité des équipes travaillant de jour dans le périmètre des voies;
- un téléphone de secours au portail pour permettre de transmettre au plus vite les informations vitales en cas d'accident etc.;
- un équipement radio pour garantir une liaison sans faille entre les différents convois du chantier d'une part et, d'autre part, avec la gare de Zoug responsable de l'exploitation;
- un tronçon avec ralentissement à $v_R = 50$ km/h dans la zone des travaux.

Immissions de bruit et vibrations: du fait du faible recouvrement du tunnel en zone urbaine, des simulations des bruits de chantier ont été faites préliminairement et les immissions mesurées dans les bâtiments critiques à l'aplomb du tunnel. Les résultats des mesures, les restrictions et les moyens en découlant pour éviter les nuisances nocturnes ont été pris en considération dans les documents de soumission.

5.2.3 Concept

Objectif des travaux: sur la base de l'analyse des dommages et des défauts constatés, on développa plusieurs concepts avec des objectifs différents. Le choix s'est porté sur une rénovation générale, c'est-à-dire que le tunnel devra pouvoir être exploité pendant 50 ans sans grands travaux d'entretien.

Les conditions suivantes étaient liées à cet objectif:

- l'amélioration du gabarit d'espace libre en respectant l'espace pour la ligne de contact, pour le pantographe et le profil transformé;

- la vitesse de projet doit être portée de $v_R = 75$ km/h à $v_R = 80$ km/h;
- les gouttes pendantes ne doivent pas porter préjudice aux installations ferroviaires;
- l'évacuation des eaux du radier doit être assurée de façon impeccable.

Généralités: les objectifs du concept ont déterminé le genre et l'étendue des travaux de rénovation. Les restrictions dues à l'exploitation de la voie imposèrent la marche à suivre des travaux. Ces mesures sont décrites ci-après (fig. 5.2).

Géométrie et niveau de la voie: pour améliorer le gabarit et la hauteur de la ligne de contact il a fallu abaisser le niveau de la voie de 30 à 45 cm. Par un déplacement de la position de la voie de 10 cm au maximum, on a adapté la courbe de raccordement trop courte à la nouvelle vitesse de projet.

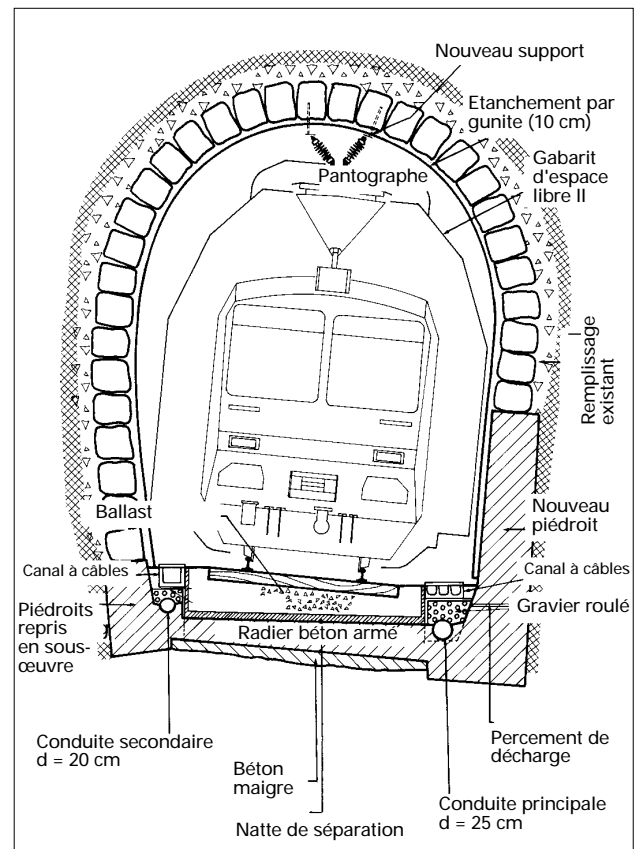


Figure 5.2: Stadttunnel CFF à Zoug: mesures de rénovation

Étanchement de la voûte: étanchement de l'ensemble de la voûte par un habillage en béton projeté d'une épaisseur de 10 cm env. armé de treillis. Pour ne pas trop perturber le bilan hydrique du massif et en particulier la zone en dessus du tunnel, on a capté l'eau d'infiltration au moyen de coques pour la mener au collecteur du tunnel. Au préalable il a fallu nettoyer par sablage la maçonnerie fortement encrassée à l'époque de la traction à vapeur.

Élimination des champignons: les champignons apparaissant localement en surface ont été traités chimiquement puis brûlés. Pour des raisons de coût l'enlèvement du boisage derrière la maçonnerie n'a pas pu être entrepris.

Radier: un radier a été mis en place pour séparer le sol existant de la superstructure. Il protège le fond d'une désagrégation ultérieure, il répartit les charges dynamiques du trafic ferroviaire et empêche la pénétration des fines dans le ballast. En même temps le radier raidit les piédroits.

Reprise des piédroits en sous-œuvre: la reprise des piédroits en sous-œuvre a été rendue nécessaire par l'abaissement du radier. Les nouvelles fondations sont intégrées au radier. L'encastrement des piédroits dans le radier empêche les déformations ultérieures.

Renouvellement de la maçonnerie: dans les zones où le gabarit d'espace libre n'était pas respecté, le revêtement en maçonnerie a été démonté par étapes et bétonné au profil juste.

Évacuation des eaux: les conduites d'évacuation des eaux placées le long des piédroits collectent l'eau d'infiltration captée en calotte et au niveau des piédroits et l'amènent à l'exutoire.

5.2.4 Exécution

Installations: toutes les installations étaient montées sur wagons pour des questions de place et d'organisation. De même tous les matériaux de construction furent transportés dans le tunnel sur wagons et les déblais évacués par tombereaux. Les CFF mirent en tout 20 wagons à disposition.

Les wagons étaient chargés et déchargés de jour par l'entreprise dans les environs de la gare de Zoug et manœuvrés par des cheminots pour une nouvelle intervention de nuit.

Deux tracteurs diesel étaient engagés durant toute la période du chantier pour le transport dans le tunnel du matériel roulant et pour les manœuvres.

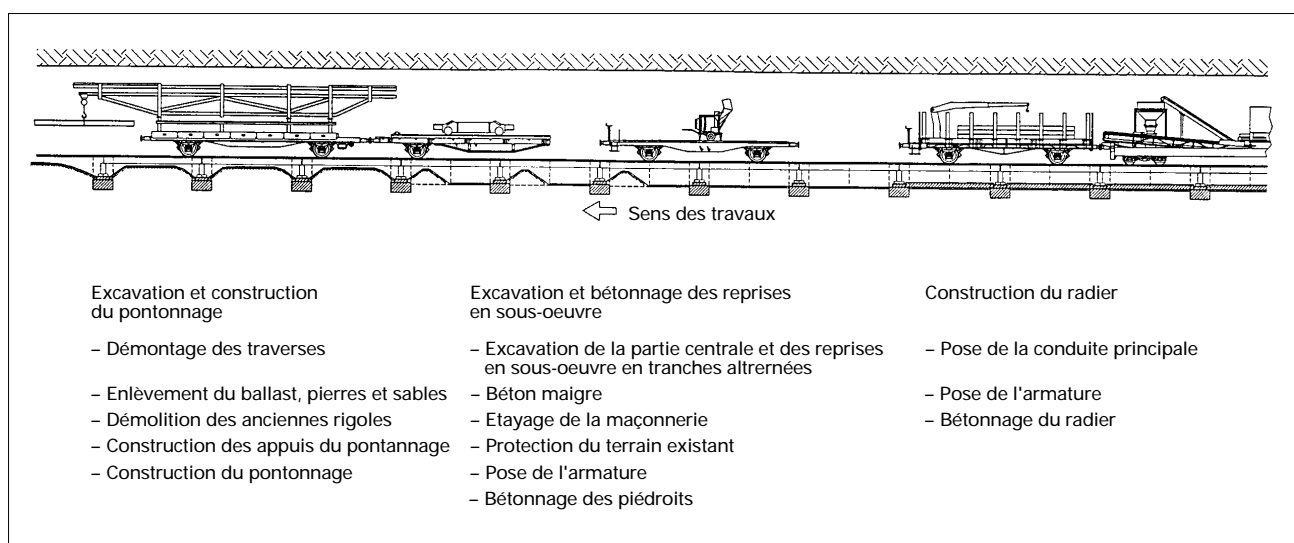


Figure 5.3: Stadttunnel CFF à Zoug: mode de construction.

Mode de construction: les conditions liées à l'exploitation ferroviaire ont influencé considérablement le choix du mode de construction (fig. 5.3). De jour, la voie devait être en état de service. Le radier fut donc exécuté à partir d'un pontonnage. Ce pontonnage long d'environ 390 m était constitué d'éléments porteurs de 6 m de longueur posés sur des fondations construites au préalable. Depuis ce pontonnage les piédroits ont été repris en sous-œuvre par tranches alternées et ensuite le radier a été construit.

Après exécution du radier, les éléments du pontonnage ont été démontés par étapes en fonction de l'avancement des travaux et la voie posée sur ballast directement au nouveau niveau.

Equipements: les équipements CFF ont été renouvelés selon le programme des travaux

Maître de l'ouvrage:
CFF, Arrondissement II, Division principale des travaux

Projet et direction des travaux:
W. Galli, Bureau d'ingénieurs à Glattbrugg

Entreprise:
Consortium Locher AG Zurich, Murer, Landis

Exécution:
Avril 1991 à mai 1994

Coût:
Fr. 24 Mio

5.3 Rénovation d'un tunnel ferroviaire à deux voies (tunnel CFF du Rohrbach)

5.3.1 Situation initiale et données du problème

Informations générales

- Tunnel à deux voies	Longueur 230 m
- Anneau int. maçonné	Toute la longueur
- Mise en service	1882
- Géométrie de la voie	R = 297.50 m
- Vitesse sur le tronçon	v = 80 km/h

L'épaisseur du remplissage derrière l'anneau intérieur maçonné atteint par endroit 4 m.

Géologie: l'ouvrage traverse dans le flanc du «Bruggeck», parallèlement à la vallée, deux éperons rocheux qui appartiennent du point de vue tectonique au massif de l'Aar. Dans la partie centrale, construite à ciel ouvert, le recouvrement est de 1 à 2 m et de 4 à 20 m dans le massif. L'éperon rocheux près du portail nord est formé de gneiss à foliation verticale.

Domages: avant son renouvellement le tunnel présentait les défauts suivants:

- de très fortes infiltrations d'eau sur tout l'anneau avec par endroit des ruissellement par les joints et maçonnerie détremée;
- sur de grande surfaces les joints de la maçonnerie étaient délavés;
- les gouttes tombant de la voûte endommageaient fortement la ligne de contact et les appareils de voie. En hiver de la glace se formait sur les équipements. Ces dernières années le tunnel ne put être maintenu en exploitation que moyennant d'importantes mesures d'entretien;
- l'anneau présentait de nombreux dommages: fissures, moellons manquants ou disloqués et pierres éclatées;
- on soupçonnait que certaines zones subissaient des gonflements.
- le caniveau maçonné (section 25 x 18 cm) dans l'axe du tunnel était détruit dans sa plus grande partie et l'eau trouvait son chemin vers la Reuss (exutoire) à travers les failles et les plis du rocher. Il n'y avait pas de puits de curage;

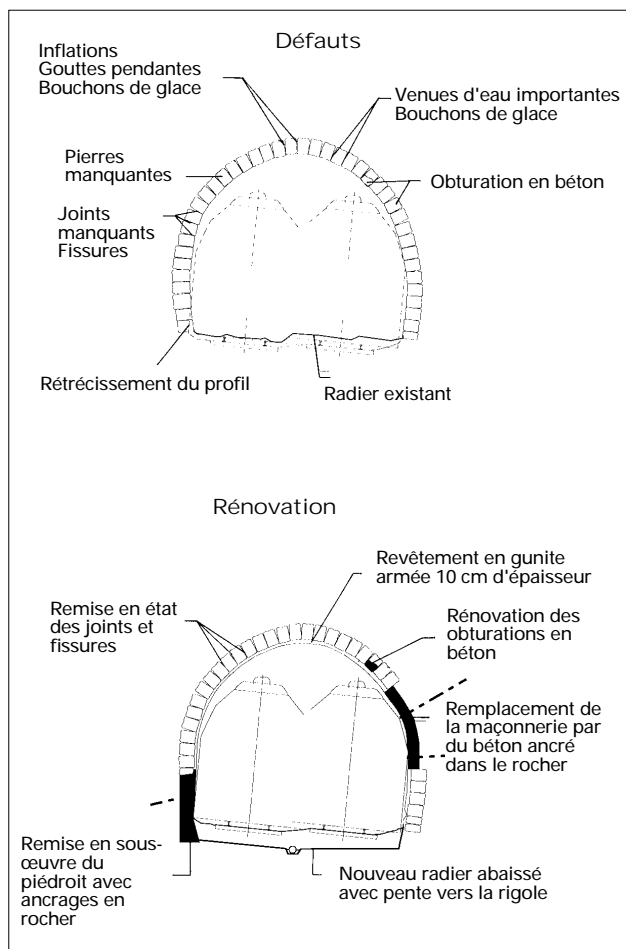


Figure 5.4: Tunnel CFF du Rohrbach. Défauts et travaux de rénovation

- l'infrastructure constituée de roche dure présentait de nombreuses surprofondeurs et inégalités où stagnait l'eau;
- l'épaisseur de ballast de 30 cm environ depuis le niveau supérieur des traverses était insuffisante. La pollution augmentait en permanence;
- les traverses reposaient partiellement dans l'eau et l'assiette de la voie n'était plus stable. En hiver les traverses et le ballast gelaient et il y avait de grandes plaques de glace jusqu'au-dessus du patin des rails,
- par endroits, le gabarit d'espace libre (II selon OCF) n'était plus respecté;

La géométrie des voies au portail sud présentait des courbes de raccordement trop courtes et un entre-axe insuffisant de 3.50 m.

5.3.2 Conditions cadres pour l'exécution des travaux

Planification des créneaux: afin que les travaux soient économiquement supportables et pour les optimiser dans la durée très courte du chantier, des fermetures complètes de chaque voie ont été planifiées. Elles ont été fixées dans le programme des travaux et elles ont été planifiées dans les horaires 3 ans avant le début du chantier.

Les travaux ont duré environ 15 mois du 15.05.1990 au 08.07.1991.

Sécurité: quatre dispositifs automatiques d'annonce des trains « AZW-5 Schweizer » ont assuré la sécurité du chantier. L'avertissement se donnait de manière acoustique (corne) et optique (gyrophare jaune). Ces derniers étaient espacés de 50 m environ. L'enclenchement et le déclenchement des installations se faisaient automatiquement par des contacts sensibles au passage des trains (fig. 5.5).

Pendant les travaux dans le gabarit de la voie restée en service, l'évacuation de cette zone devait être immédiate dès l'enclenchement des avertisseurs et tous les travaux interrompus.

On a installé deux installations d'arrêt d'urgence qui permettaient l'arrêt immédiat des trains par des gyrophares rouges ou en agissant directement sur les locomotives (Signum). C'est la première fois que les CFF engageaient ce système d'arrêt d'urgence des trains.

De plus, les zones et les phases critiques des travaux étaient sous contrôle de protecteurs.

5.3.3 Concept

Objectifs des travaux: la durée de vie espérée des travaux de renouvellement a été fixée à 50 ans. Cela impliquait la résolution des problèmes constructifs et de ceux liés au profil et a exigé les travaux suivants:

- captage et évacuation des eaux d'infiltration;
- étanchement impeccable et renforcement de la voûte (stabilité) ainsi que drainage du radier;
- application des exigences indispensables du gabarit:

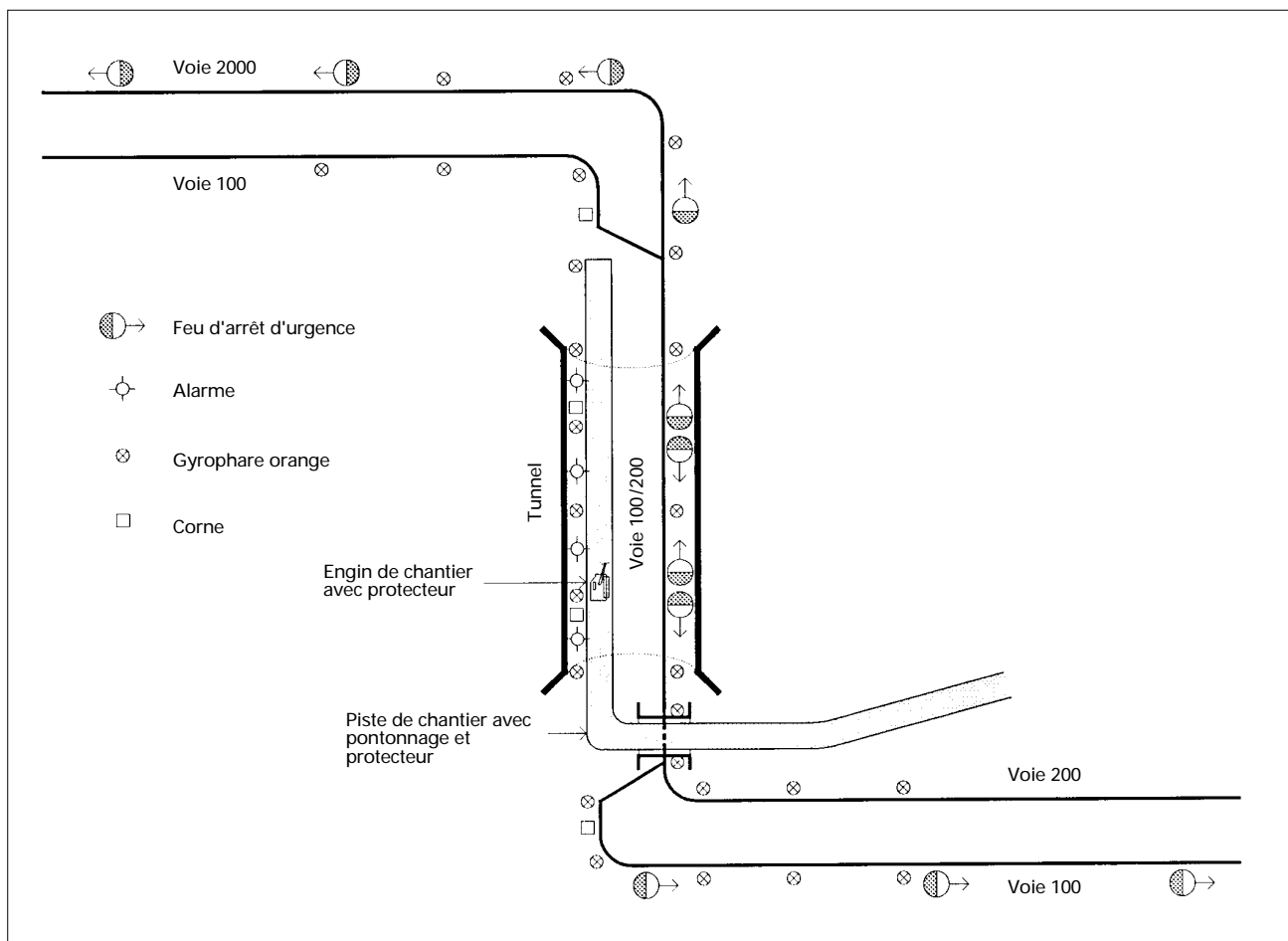


Figure 5.5: Tunnel CFF du Rohr bach. Organisation du chantier et installations de sécurité (créneau d'entretien Type VI)

- hauteur de la ligne de contact, gabarit du pantographe;
- gabarit des véhicules et du chargement : gabarit II, zone I selon OCF;
- valeurs particulières;
- entre-axe des voies de 3.55 m.

Amélioration de la maçonnerie: l'anneau intérieur a été consolidé par des injections à basse pression dans les zones de faiblesse de la maçonnerie. Les venues d'eau devaient être captées et conduites aux rigoles.

Remplacement de la maçonnerie: l'abaissement des voies a permis de limiter le reprofilage au côté gauche de la section dans la zone du portail sud. La maçonnerie a été enlevée par étapes après injection et remplacée par 40 à 80 cm de béton armé. Dans les zones de faible reprofilage, la maçonnerie a été remplacée par environ 30 cm de béton projeté fortement armé. Pour des raisons esthétiques, les moellons des portails ont été maintenus mais retaillés au profil exigé.

Revêtement en béton projeté: la surface apparente de la maçonnerie a été sablée. Un revêtement

en béton projeté armé de 10 cm a été prévu sur tout l'anneau pour assurer l'étanchéité et renforcer statiquement la voûte.

Abaissement du radier: l'abaissement du radier a été exécuté après les travaux en calotte et le démontage des voies. De part et d'autre de la rigole centrale abaissée, le radier présente une pente vers le milieu de la section.

Reprise en sous-œuvre: le piédroit côté voie 100 a dû être démonté et remplacé par une paroi en béton armé respectant le gabarit d'espace libre imposé. La réalisation s'est faite par étapes pour des raisons statiques. L'eau d'infiltration est amenée aux rigoles latérales par des tuyaux PE et des nappes alvéolées.

Renforcement en béton: côté voie 200 sur toute la longueur du tunnel, il a fallu assurer le piédroit au niveau du radier par un renforcement vertical en béton armé ancré.

Evacuation des eaux: dans l'axe du tunnel, la rigole principale a été réalisée en tuyaux PE (DN 250 à 350 mm) avec des cheminées de contrôle et de curage. La couche d'égalisation en pente garantit un drainage impeccable du ballast. La rigole conduit les eaux à la Reuss.

Sur le côté gauche du tunnel, on a placé une rigole secondaire (DN 200 mm). Elle draine l'anneau côté montagne et est reliée à la rigole principale.

5.3.4 Exécution

Installation de chantier: la solution proposée par l'entreprise qui a été exécutée comprenait principalement l'accès au chantier par une piste. L'ensemble des travaux de renouvellement dans le tunnel du Rohrbach a donc pu être exécuté avec des engins non-ferroviaires. La piste de chantier empruntait le pont CFF sur la Reuss à Wattingen et longeait la voie jusqu'au portail nord du tunnel. Le tronçon de voie maintenu sur le pont et jusqu'au portail a été protégé et recouvert de HMT.

Pour l'accès au chantier sur la voie 100, un passage à niveau avec signalisation lumineuse a été installé. Ce passage fortement fréquenté présentait un certain risque. Il fut donc gardé en permanence par un protecteur et une barrière (voir fig. 5.5).

Equipements: les équipements ferroviaires ont été renouvelés dans le cadre de ce projet.

Maître de l'ouvrage:
CFF, Arrondissement II, Division principale des travaux, Lucerne

Projet et direction des travaux:
Bureau d'ingénieurs Conrad Zschokke AG, Zurich

Entreprise:
Consortium Locher AG Zurich, Murer, Imholz, Walker

Exécution:
Mai 1990 à août 1991

Coût:
Fr. 12 Mio

5.4 Remise en état de la voûte (tunnels d'accès au Gothard, N2)

5.4.1 Situation initiale

Douze tunnels de la rampe d'accès au Gothard sur la N2 dans le canton d'Uri ont été renouvelés entre 1991 et 1993, parallèlement à la remise en état d'une partie des galeries pare-avalanches et des ponts situés entre les tunnels.

L'entretien des éléments de parois intérieures que nous décrivons ci-après ne représente qu'une partie de l'ensemble des travaux. D'autres travaux ont été, en même temps, menés à chef, tels que la réfection générale du béton, la remise en état des joints, l'étanchement, l'entretien et le renouvellement du système d'évacuation des eaux ainsi que des travaux constructifs nécessaires à l'entretien des installations électromécaniques.

L'auscultation de l'ouvrage a permis de conclure que les éléments de parois à partir de 2 m au-dessus de la chaussée étaient dans un état globalement satisfaisant malgré certaines teintes grises parfois très contrastées et des efflorescences calcaires.

En dessous, c'est-à-dire jusqu'à 2 m au-dessus de la chaussée, on a pu constater des dommages importants : taches de rouille, éclats, fissures, venues d'eau et déplacements. On a estimé que la situation devait empirer dans l'espace de quelques années du fait des hautes teneurs en chlorures, du recouvrement des barres insuffisant et du taux d'humidité élevé derrière les parois.

Les ancrages de fixation (ancrages Perfo) des éléments de parois au profil d'excavation type E (fig. 5.6) étaient partiellement visibles et légèrement corrodés suite à des éclatements de rocher (fig. 5.7). Le béton à l'intérieur du coffrage en éternit était poreux ; la perméabilité élevée intensifiait la corrosion. La sécurité à la rupture par traction, lors de chocs de véhicules par exemple, n'était plus garantie.

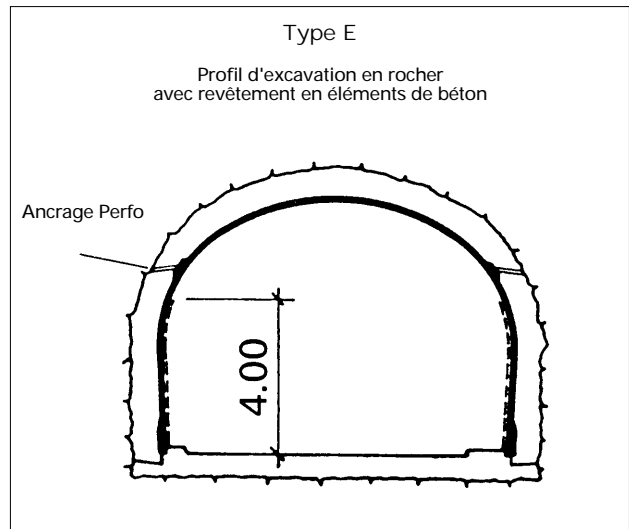


Figure 5.6: Profil type



Figure 5.7: Eclatement du béton et ancrage corrodé

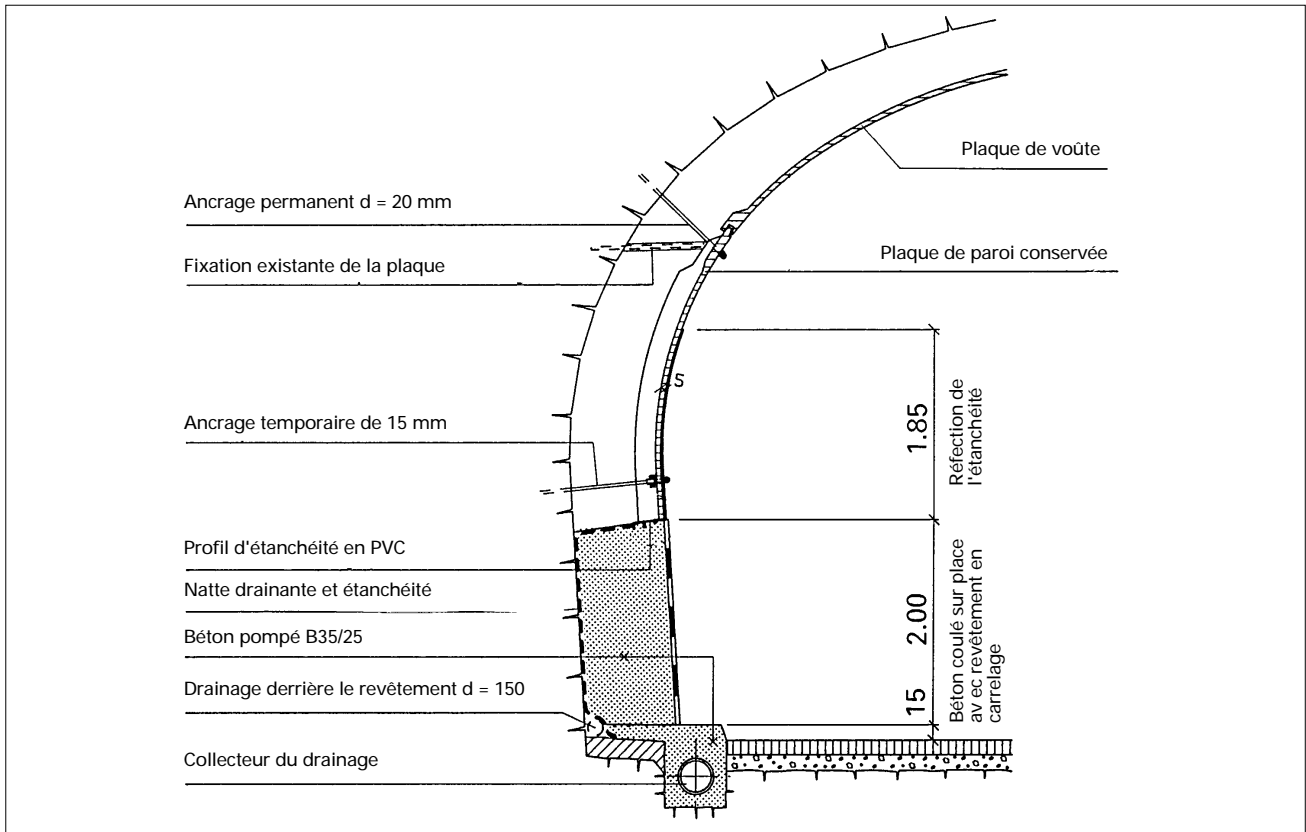


Figure 5.8: Travaux d'entretien des éléments de paroi dans les tunnels des routes nationales

5.4.2 Concept

Sur la base de l'analyse des différentes variantes de remise en état, la solution suivante a été réalisée.

Jusqu'à une hauteur de 2 m à partir du trottoir les éléments préfabriqués de la paroi intermédiaire ont été démontés et l'espace vide a été rempli par du béton coulé sur place. Avant le sciage des éléments de paroi, les parties supérieures conservées ont dû être fixées à l'aide d'ancrages.

Ces ancres permanentes reprennent les charges de traction et empêchent la chute des éléments lors de chocs de véhicules. Les barres de béton formées des ancres existants et de leur scellement reprennent les charges de compression dues au poids propre et aux surcharges des plaques. Après les travaux de réfection, on a relâché les ancres tem-

poraires inférieurs et ainsi ramené, directement par les plaques nervurées de la paroi, les charges des plaques de la calotte dans les piédroits bétonnés sur place.

5.4.3 Exécution

Assurage des éléments de paroi et de voûte (voir fig. 5.8). Mise en place des ancres permanents $d = 20$ mm au haut des éléments de parois et des ancres provisoires $d = 15$ mm au-dessus de la ligne de sciage.

Démolition des éléments de parois: sciage 2 m au-dessus du trottoir, chargement et mise en dépôt des éléments (réutilisation pour fondation de chaussée).

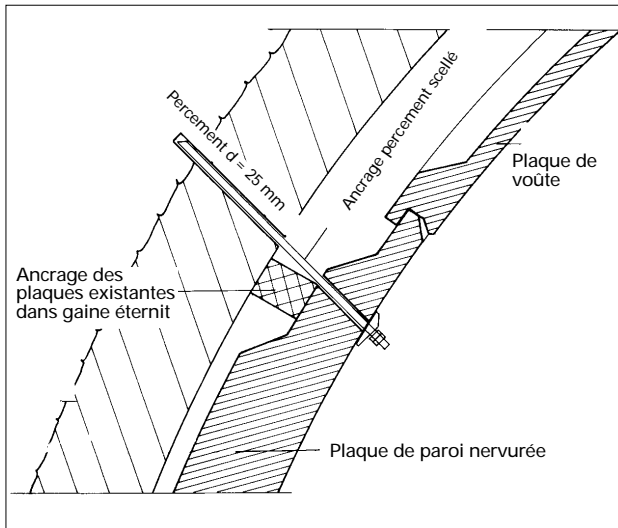


Figure 5.9: Fixation supérieure définitive de la paroi

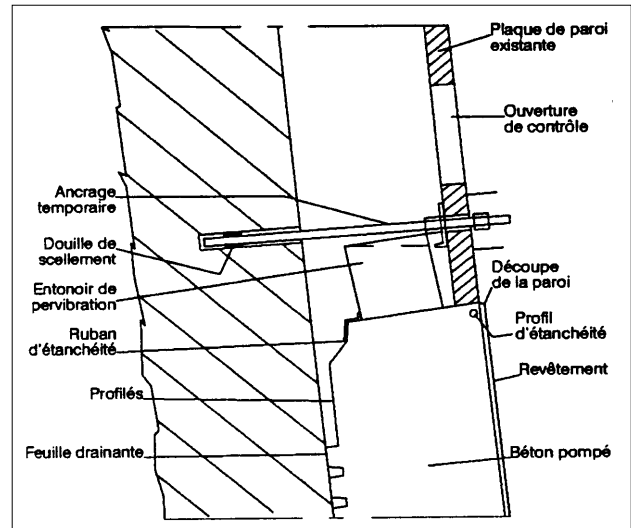


Figure 5.10: Remplacement des éléments de parois inférieurs par du béton coulé sur place

Drainage de la voûte: démolition de l'appui des parois et de la rigole, pose de drains $d = 15$ cm et mise en place de la feuille drainante contre le revêtement de béton.

Mise en place de la bande d'étanchéité en PVC (fig. 5.10): raccord des entonnoirs de pervibration $d = 150$ mm à la bande d'étanchéité et collage de celle-ci à l'étanchéité de la paroi.

Béton de revêtement: percement d'ouvertures de contrôle $d = 25$ cm tous les 1.10 m dans les parois. Introduction du béton pompé par des buses dans les éléments métalliques de coffrage longs de 30 m. Compactage du béton par vibration du coffrage et introduction de pervibrateurs par les entonnoirs à travers les ouvertures de contrôle. Enfin démontage des ancrages provisoires.

Protection du béton: revêtement du béton par du carrelage.

Maître de l'ouvrage:
Service des Ponts et Chaussées du canton d'Uri,
Altdorf

Direction générale des travaux:

Service des Ponts et Chaussées du canton d'Uri,
Altdorf

Projet et direction des travaux locale:
Lombardi AG & Balestra AG, Erstfeld

Entreprise:
Arbeitsgemeinschaft Tunnelanierung N2 (J. Baumann Söhne AG, Gebr. Bonetti AG, Cellere AG, CSC Bauunternehmung AG, Locher und Cie. AG, Ed. Züblin AG)

Protection du béton:
ARGE ATAG Bau AG, B. Föhn

Exécution:
1991- 1993

Coût:
Fr. 19,6 Mio

5.5. Remplacement partiel de la dalle intermédiaire (tunnel routier du Gothard, N2)

5.5.1 Situation initiale

En 1986 un dommage important est arrivé à la dalle intermédiaire qui sépare la galerie routière des canaux de ventilation. Ce dommage tunnel qui s'en est suivie a duré 4 heures. La dalle intermédiaire s'est brisée du côté de la grande portée sur la longueur d'un élément (8 m) et la zone de la cassure s'est affaissée d'environ 10 cm dans le gabarit d'espace libre (fig. 5.11). Sur les éléments voisins, on a découvert des éclats de béton et d'importantes fissures.

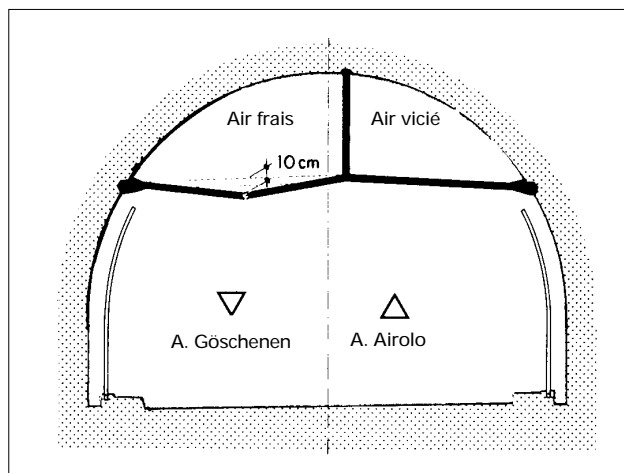


Figure 5.11: Rupture de la dalle intermédiaire

Suite à cet accident, on a constaté sur la voûte du tunnel de nombreuses fissures importantes et des déformations.

5.5.2 Mesures d'urgence

La zone des dégâts a été nettoyée des morceaux de bétons éclatés et recouverte d'une fine couche de béton projeté. Une consolidation provisoire, faite de poutres en bois posées transversalement, de boulons et de treillis, a été mise en place pendant la nuit suivante sur une longueur de 20 m (fig. 5.12).

Parallèlement, on a mis sur pied un programme étendu d'auscultation : essai de matériaux, analyse des eaux du massif, carottages, contrôle des fissures, mesures des fréquences propres de la dalle, mesures de convergence et mesures géodésiques. Les mesures de convergence et les mesures géodésiques ont été intégrées, au même titre que les observations régulières de la zone comprimée, dans le programme des contrôles et des inspections futurs.

5.5.3 Recherche de l'origine du dommage et concept de remise en état

Les mesures des déformations ont confirmé que le dommage est dû au déplacement latéral de l'appui de la dalle. Comme la déformation continuait de progresser, des dommages supplémentaires apparurent sur la dalle soutenue provisoirement.

On a donc dû prendre en considération les déformations ultérieures dans le projet de remise en état. La dalle à remplacer complètement sur 24 m et à rénover sur 90 m a été posée sur des appuis glissants permettant la reprise des déformations horizontales.

En variante, on a aussi étudié la consolidation immédiate et étendue du rocher. Mais au vu des importantes pressions du massif et de la situation géologique complexe, le résultat d'une telle opération a été jugé plus que douteux. De plus, au moment de la décision, on manquait d'information sur l'évolution des déformations de la voûte. La réfection de la dalle intermédiaire se révélait plus simple à l'exécution, perturbait moins le trafic et avait des avantages financiers.

5.5.4 Exécution

La modification du système causée par les travaux a exigé l'analyse fouillée du comportement statique. En particulier, des mesures ont dû être prises pour empêcher le déboîtement latéral de l'appui opposé suite à la suppression de la butée du côté à reconstruire.

En tenant compte de toutes les exigences techniques et de la perturbation minimale du trafic, l'exécution a suivi les étapes suivantes (fig. 5.13 et 5.14) :

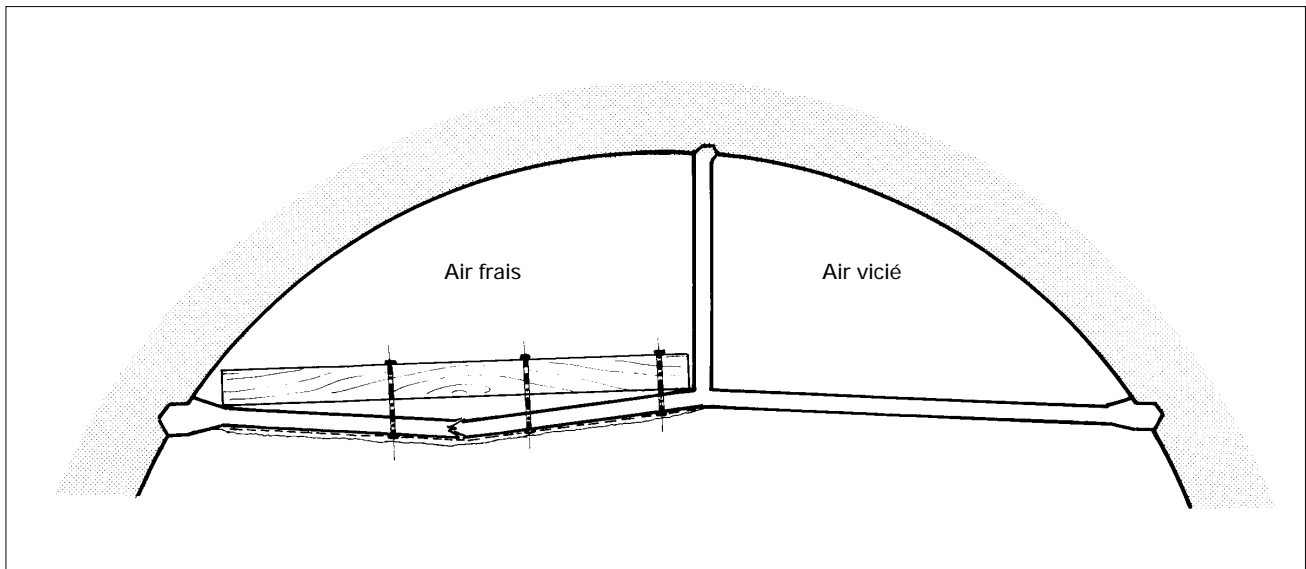


Figure 5.12: Consolidation provisoire du secteur de dalle endommagé

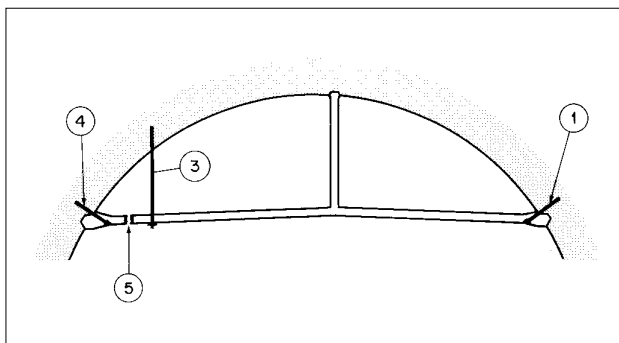


Figure 5.13: Mesures de réfection de la dalle (décharge de la poussée de la voûte)

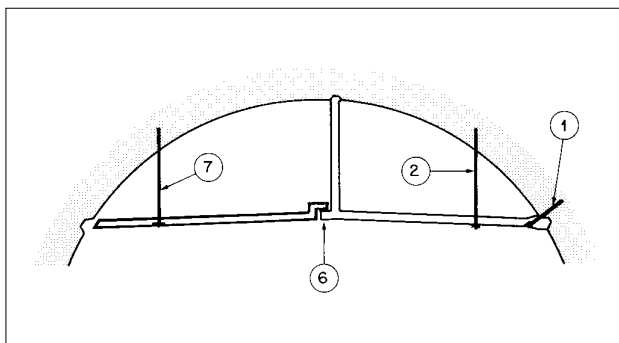


Figure 5.14: Remplacement de la dalle par des éléments préfabriqués

- a) Consolidation de l'appui du côté opposé à la cassure (côté canal d'air vicié) sur toute la longueur de la partie défectueuse: assurage par des ancrages (1) dans le béton de la voûte tous les 1.33 m. La mise en place de ces ancrages s'est faite depuis la nacelle d'un camion.
- b) Suspentes supplémentaires dans le canal d'air vicié (2). Ces suspentes étaient nécessaires là où la demi-dalle, côté canal d'air frais, a été démolie et remplacée par une nouvelle (fig. 5.14). Sinon, la partie de dalle restante aurait été sollicitée de façon trop importante par le changement du système statique. La mise en place de ces suspentes s'est faite par les mêmes moyens que pour les ancrages.
- c) Suspension de la dalle encore intacte dans le canal d'air frais, sur 88 m (3). La poussée de la voûte comprimait la dalle. Il a fallu la séparer de l'appui pour prévenir des dégâts ultérieurs (voir point e). Le principe est le remplacement de l'appui existant par un autre (la suspente) permettant les déformations horizontales. L'espacement et la mise en place des suspentes sont les mêmes que pour ceux dans le canal d'air vicié.

Le bout de dalle restant vers l'appui a été assuré de la même façon que du côté du canal d'air vicié, par un ancrage dans la voûte.

- d) Démolition de la dalle intermédiaire défectueuse. Sur 24 m de longueur, la dalle a été coupée par des scies à disques au diamant, puis démontée et évacuée par segments. Ce travail a duré 3 nuits où la voie de circulation sous l'emplacement des travaux a été fermée à la circulation. L'autre voie a servi à la circulation alternée, réglée sur place par deux hommes (créneau d'entretien de type I). On a limité la fermeture complète aux courtes période de sciage longitudinal dans l'axe du tunnel, car on ne pouvait empêcher la chute d'éclats de béton.
- e) Séparation entre la dalle intacte et l'appui existant par une découpe de 40 mm de largeur (5). Ce travail a été exécuté depuis le canal d'air frais à la scie à béton. Les perturbations de trafic étaient ainsi minimales pendant cette phase des travaux (réculte de la boue de sciage et protection contre la chute d'éclats de béton).
- f) Fourniture et mise en place de la dalle en éléments préfabriqués. Les 24 m de dalle à remplacer ont été faits d'éléments de dalle de 2 m de large (mesurés suivant le sens longitudinal du tunnel). Au milieu, la dalle préfabriquée repose sur le bord de dalle subsistant au pied de la cloison intermédiaire et elle est assurée horizontalement par un goujon (6). En rive, chaque élément est suspendu à la voûte par 2 suspentes (7).
- g) Travaux d'étanchement et de finition. Le joint de dilatation long de 88 m et tous les joints entre les éléments préfabriqués ont été rendus étanches pour éviter les fuites d'air. Ces travaux et ceux du raccordement des canaux d'air frais secondaires ont pu être exécutés pratiquement sans gêne pour le trafic depuis le bord de la chaussée et depuis les canaux de ventilation.

Maître de l'ouvrage :

Service des ponts et chaussée du canton d'Uri, Altdorf

Direction générale des travaux :

Service des ponts et chaussée du canton d'Uri, Altdorf

Projet :

Lombardi AG, Minusio

Direction locale des travaux :

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Altdorf

Entreprise :

Murer AG, Erstfeld

Fourniture des éléments préfabriqués :

R. Stüssi AG, Dällikon

Fourniture des suspentes :

BBTec, Bönsingen

Exécution :

1985

Coût :

Fr. 0.25 Mio

5.5.5 Autres travaux

Grâce aux auscultations entreprises et aux travaux de rénovation de la voûte par remplissage des vides entre le profil d'excavation et l'anneau extérieur, la vitesse de déformation des appuis de la dalle a été considérablement ralentie. La surveillance renforcée et les mesures de contrôle périodiques montrent pourtant que les déformations ne sont pas encore stabilisées.

5.6 Gestion du trafic pendant les travaux d'entretien (tunnel du Belchen, N2)

5.6.1 Situation initiale

La construction du tunnel du Belchen, dans le cadre de celui de la route nationale N2, remonte aux années 1963 à 1970.

L'élément de tunnel N° 24 se situe dans le tube est à environ 300 m du portail nord, dans la transition entre le calcaire et le gypse du Keuper. L'épaisseur nominale de l'anneau de béton intérieur est de 35 cm. Une feuille d'étanchéité de 1.5 mm d'épaisseur est placée derrière l'anneau de béton. La galerie routière est séparée des canaux de ventilation par une dalle intermédiaire préfabriquée.

5.6.2 Constat et évaluation

Dans le cadre d'une inspection générale de l'ouvrage, on a procédé au contrôle visuel des fissures et des éclatements de béton, à des carottages dans la voûte et à l'auscultation au géoradar.

Les auscultations mirent en évidence les dommages suivants :

Voûte : le tronçon de voûte situé dans le gypse du Keuper présentait de nombreux dommages : importantes fissures, vides, éclatements. Les dégâts les plus importants se trouvaient en calotte au-dessus de la dalle intermédiaire, là où l'anneau n'a plus par endroit que quelques centimètres d'épaisseur. A côté de fissures radiales de moindre importance, on trouvait des fissures longitudinales plus longues et plus grandes. Par endroits la voûte était humide et présentait des concrétions.

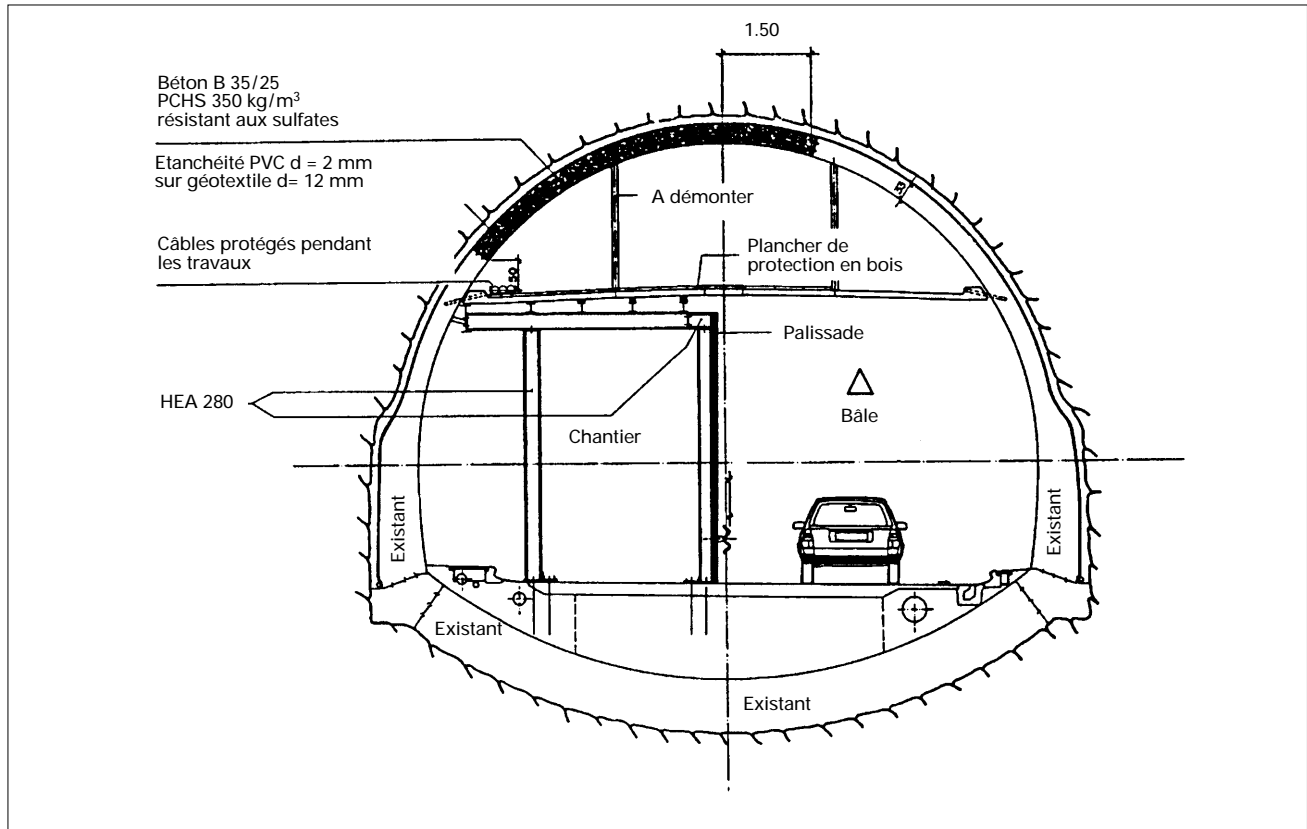


Figure 5.15: Profil du tunnel avec soutènement provisoire de la dalle intermédiaire. La voûte endommagée a été remise en état sur la longueur de l'élément, sur 6 m de large

Quelques années auparavant, une rupture par cisaillement s'était produite en clé de voûte dans la zone endommagée de l'élément 25. La voûte avait été consolidée provisoirement par des ancrages et 6 profilés métalliques.

La comparaison des contrôles de 1990 avec ceux de 1985 montre que l'état de l'ouvrage s'est détérioré. De nouvelles fissures sont apparues et d'autres déjà repérées auparavant se sont agrandies.

Radier voûté: en 1990, le radier de l'élément 23 a été mis à nu partiellement. On n'a constaté aucun dommage.

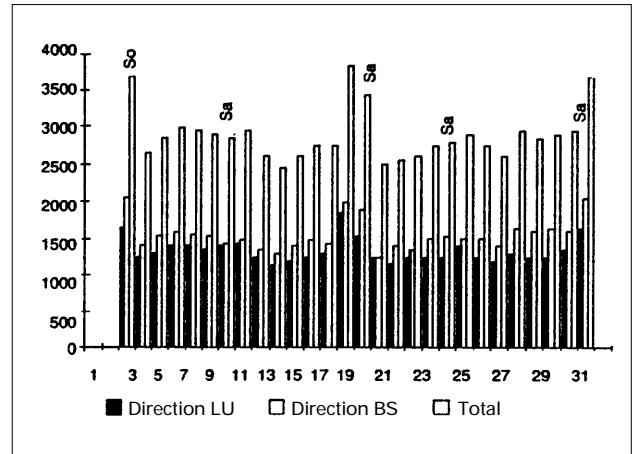


Figure 5.16: Fréquence horaire journalière. Septembre 1989

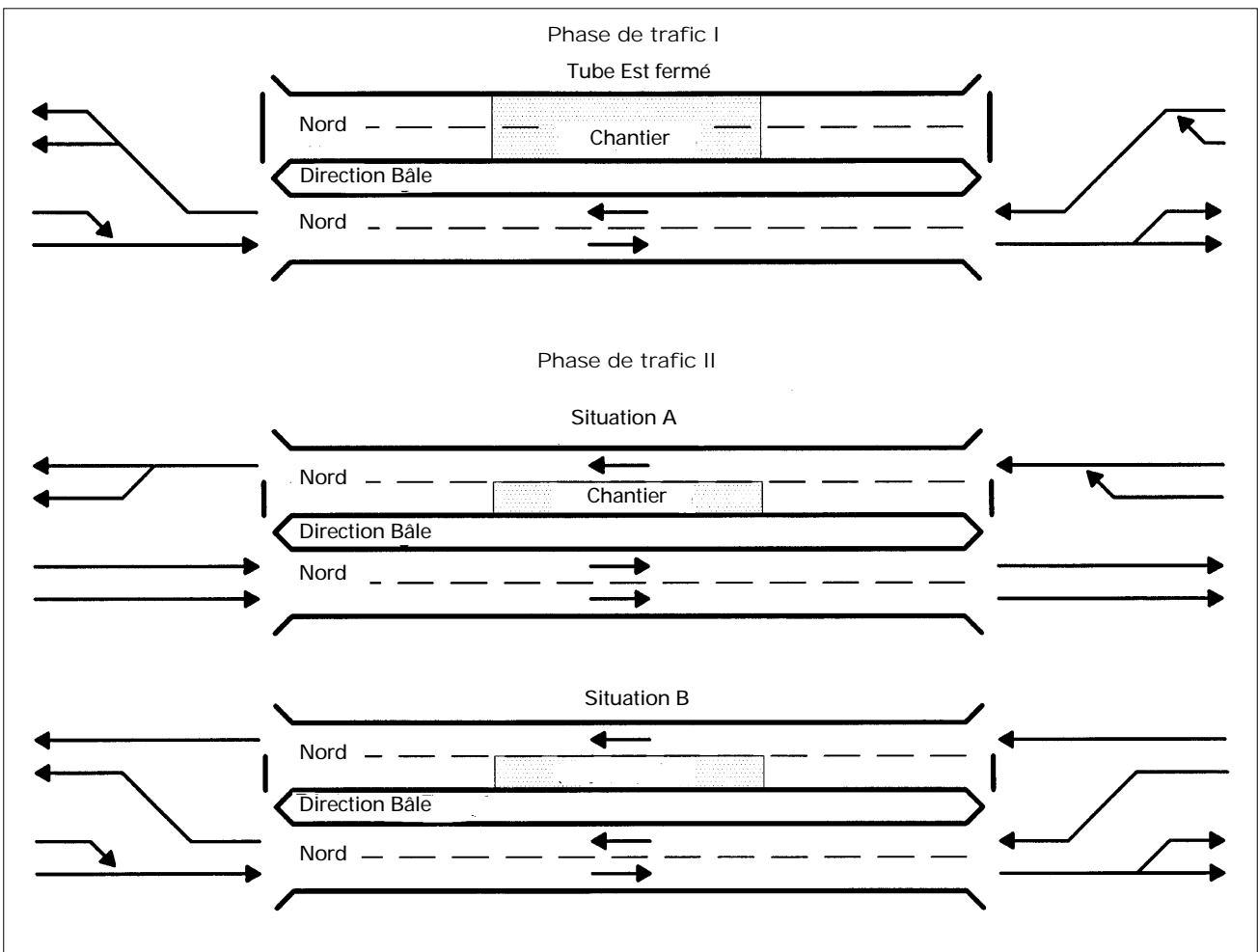


Figure 5.17: Phase de trafic avec deux et trois pistes (voir aussi fig. 5.18.)

Dalle intermédiaire: aucun dommage n'a pu être constaté. Le mortier de remplissage entre la dalle intermédiaire et l'anneau des éléments 23 à 25 a été enlevé pour décharger la dalle de la pression latérale.

Sur la base des contrôles de l'ouvrage et des inspections de détail, on a estimé que la force portante de la zone de calotte endommagée était réduite à rien. La mise en place des ancrages et des profilés n'assurait que temporairement la voûte. Pour éviter l'évolution des dommages qui diminueraient la sécurité structurale, la remise en état de toute la zone défectueuse s'imposa.

5.6.3 Concept

Au-dessus de la voie de dépassement, on a démolit et rebétonné la voûte sur toute la longueur de l'élément (12 m).

5.6.4 Gestion du trafic

Au total 45'000 véhicules empruntent quotidiennement les deux tubes du tunnel du Belchen. Le dépouillement du comptage hebdomadaire du trafic montre clairement des pointes entre le vendredi à midi et le dimanche soir. Pendant cette période la charge de trafic est de 5 à 25% plus élevée dans la direction de Bâle que dans celle de Lucerne (fig. 5.16). En semaine la charge de trafic est environ 25% plus faible que pendant le week-end, les périodes des vacances exceptées. La répartition horaire du trafic fait apparaître d'importantes pointes entre 08 h 00 et 09 h 00 et entre 17 h 00 et 18 h 00 alors que le nombre de véhicules devient proportionnellement très faible entre 21 h 00 et 06 h 00.

La remise en état de l'anneau s'est faite parallèlement aux travaux d'entretien annuels (nettoyage, entretien courant). La fermeture usuelle du tunnel de 3 semaines pour l'entretien courant a néanmoins dû être prolongée de 2 semaines à cause des travaux sur la voûte (fig. 5.17 et 5.18)

Deux types de gestion du trafic différents ont été prévus: la fermeture complète du tube pendant la semaine; pendant le week-end et les vacances une piste du tube est ouverte (fig. 5.18):

- Phase I: fermeture du tube est (de 3 semaines pendant les jours ouvrables).

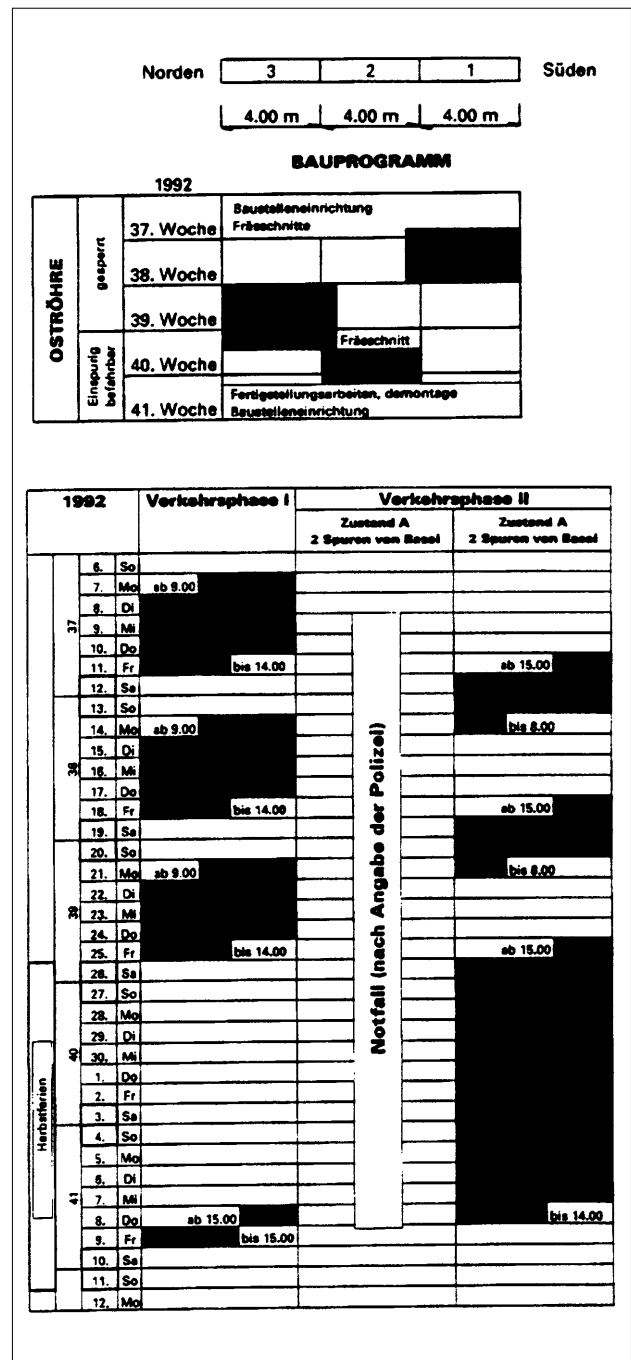


Figure 5.18: Programme des travaux et aménagement des phases de trafic (voir aussi fig. 5.17)

Le tube est a été fermé à la circulation pendant les semaines 37 à 39 pour diverses révisions et pour le nettoyage du tunnel. Le tube ouest était alors exploité en trafic bidirectionnel. Parallèlement, l'installation de chantier a été mise en place et une partie des travaux spécialisés exécutée. Pour l'exécution de ces derniers toute l'aire de chantier a été séparée de la voie de circulation par une palissade.

- Phase II : fermeture partielle du tube est (le week-end et 2 semaines en période de vacances).

Une voie de circulation du tube est restée en service. Il y avait ainsi 3 voies à disposition du trafic. Le trafic étant légèrement plus important dans la direction de Bâle, deux pistes (une dans chaque tube) ont été réservées à ce sens et une seule pour la direction Lucerne dans le tube ouest (Situation B). Pour les cas exceptionnels des pointes de trafic en direction de Lucerne, l'assignation des voies pouvait être modifiée (Situation A).

Maître de l'ouvrage:
Service des ponts et chaussée du canton de Bâle
Campagne

Direction générale des travaux :
Aegerter & Bosshart AG, Bâle

Projet :
Aegerter & Bosshart AG, Bâle

Entreprise :
Marti AG, Pratteln

Exécution :
9 au 14 octobre 1992

Coût :
Fr. 0,86 Mio

5.7 Montage d'un chemin de câbles dans le canal de ventilation (tunnel du Belchen, N2)

5.7.1 Situation initiale

La surveillance de l'état des systèmes électromécaniques a montré que certaines installations n'étaient plus que partiellement aptes à fonctionner et que par conséquent la sécurité de l'exploitation n'était plus garantie. Les différents composants exigeaient soit un entretien spécialisé soit un remplacement.

Le programme d'entretien et de rénovation a été établi dès 1988. Il tenait compte de pratiquement tous les systèmes électromécaniques :

- éclairage des zones d'adaptation et normales ;
- commande de l'éclairage ;
- distribution de la basse tension ;
- signalisation lumineuse du tunnel ;
- nouvelle signalisation avancée ;
- nouveau réseau pour la transmission des données ;
- télévision ;
- équipement de ventilation, révision des ventilateurs ;
- commande de la ventilation ;
- téléphones et niches de secours ;
- ventilation en surpression ;
- équipement de la salle de commande ;
- protection et surveillance de l'installation à moyenne tension.

La rénovation générale poursuivait deux buts principaux :

- meilleure sécurité de l'exploitation par un équipement électromécanique fonctionnel ;
- conditions générales optimales pour le gros entretien prévu (en particulier par la nouvelle signalisation avancée).

Réalisation par étapes – problème du caniveau à câbles existant

Les travaux d'une telle importance, dans un tunnel en exploitation, ne pouvaient se réaliser que sur

plusieurs années, par étapes soigneusement programmées. C'est là qu'est apparu le problème du caniveau à câbles existant : les câbles à remplacer étaient posés les uns sur les autres dans le caniveau (fig. 5.19). Leur remplacement par étapes n'était pas possible car :

- les câbles reposaient dans le canal sans gaines de protection en se chevauchant les uns les autres ;
- les câbles n'étaient plus manipulables indépendamment ;
- les câbles étaient détériorés par l'eau et les salissures ;
- les dallettes sur le caniveau étaient difficiles à manipuler à cause de leur poids. Il fallait fermer le tunnel pour pouvoir ouvrir le canal.

Le caniveau pour les câbles haute tension se trouve de l'autre côté du tunnel. L'alimentation haute tension ne faisait pas partie du programme des travaux.

Le canal d'air frais que dans le caniveau existant. Néanmoins des exigences particulières ont été formulées pour les matériaux : des canaux à câbles en fibro-ciment, incombustibles, des câbles sans halogène, difficilement inflammables, auto-extinguibles et résistants aux hautes températures.

Le canal d'air frais offrait encore d'autres avantages :

- possibilité de tirer de nouveaux câbles en étapes successives ;
- travaux possibles partiellement sans fermeture du tunnel ;
- surveillance, inspection et mise en service sans perturber le trafic ;
- assainissements futurs des câbles simplifiés ;
- dispositions constructives moins importantes.

Après accord du service d'exploitation sur ce nouveau tracé, on a étudié deux variantes (fig. 5.20 et 5.21) :

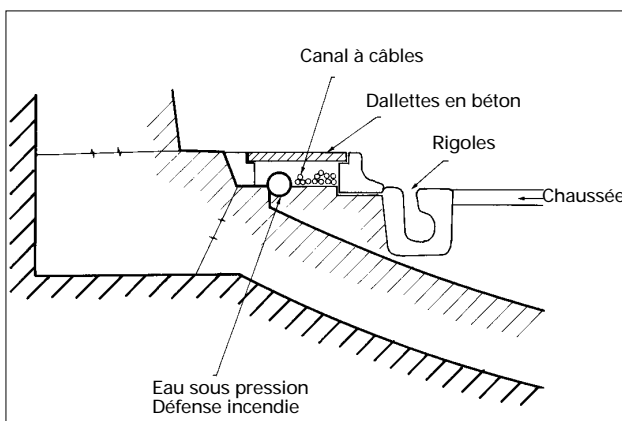


Figure 5.19: Caniveau à câble pour basse tension et signalisation

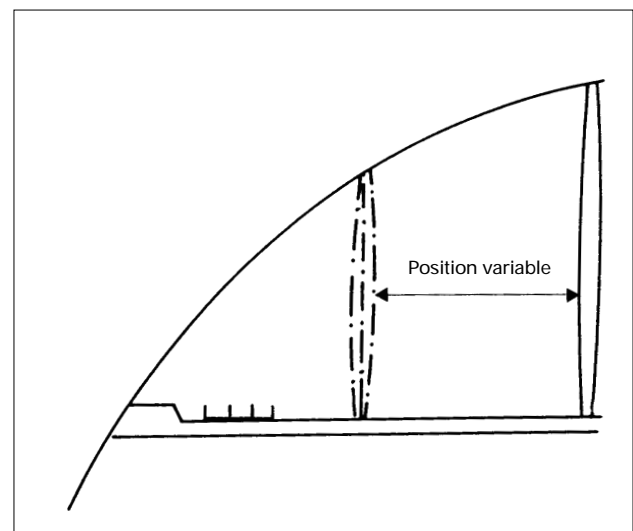


Figure 5.20: Caniveaux à câbles juxtaposés

5.7.2 Concept

Le remplacement du caniveau par des gaines n'entraîne pas en considération du fait du manque de place. On étudia donc un tracé de câbles par le canal d'air frais. Le risque pour les câbles, en cas d'incendie dans le tunnel, n'a pas été jugé plus grand dans

La solution avec les caniveaux à câbles juxtaposés a été préférée à cause de la plus grande facilité d'exécution et parce que les mouvements de la calotte ou de la dalle intermédiaire n'influencent pas la stabilité des canaux. Il a été jugé rationnel de répartir les câbles dans 3 canaux.

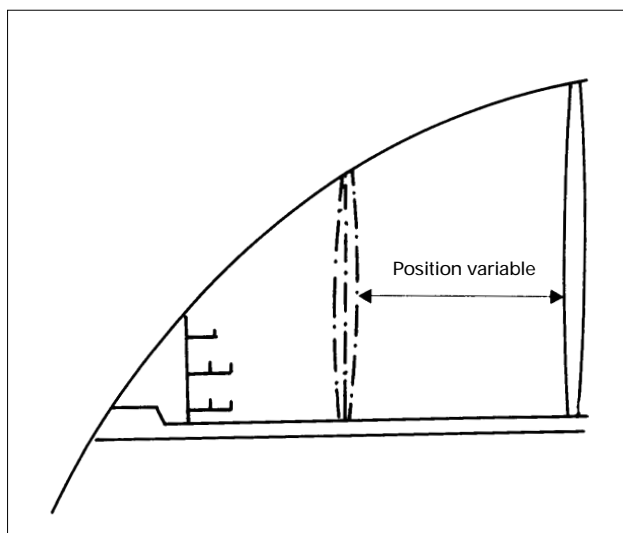


Figure 5.21: Consoles à câbles étagées

5.7.3 Exécution

Une partie du câblage sert au raccordement des 5 centrales (2 centrales aux portails et 3 centrales de ventilation dans le tunnel). Le nouveau tracé des câbles va directement du canal de ventilation aux centrales par la dalle intermédiaire puis par les chemins de câbles existants (par exemple gaines verticales) aux armoires de distribution et de commande. A l'intérieur même du canal de ventilation, les caniveaux à câbles ont été vissés directement sur la dalle intermédiaire. Tous ces percements ont été réalisés en coupe-feu et rendus étanches à l'air par de la mousse synthétique. On a délibérément renoncé à placer des armoires électriques et des boîtes de dérivation à l'intérieur du canal de ventilation.

Les petits rouleaux de câbles ont été amenés dans le canal de ventilation par les ouvertures de montage. Pour les câbles de gros diamètre, les bobines ont été installées sur la chaussée.

Le raccordement des appareils dans le tunnel (lampes, signaux, caméras, etc.) a pu être préparé sous trafic dans le canal de ventilation. Les câbles rejoignent leurs points de raccordement par des percements dans la dalle intermédiaire. Le raccordement s'est finalement effectué pendant des fermetures au trafic de relativement courte durée.

5.7.4 Premières expériences

Les expériences sont globalement positives : le programme des travaux échelonné a pu être tenu et les travaux ont pu être exécutés sous charge de trafic à quelques exceptions près. La pose des chemins de câbles dans le canal de ventilation peut être considérée comme économiquement valable. Il faut néanmoins noter que le coût de canaux à câbles incombustibles est très variable : la solution la plus chère (non retenue) était 2.5 fois plus chère que la solution la plus avantageuse.

Les conditions de travail dans le canal de ventilation ont souvent été désagréables. Avec l'amenée d'air frais qui était hors service, la qualité de l'air était souvent mauvaise à cause des infiltrations des gaz d'échappement. En hiver avec l'amenée d'air en service, l'air froid était lui aussi peu agréable. Mais ces inconvénients étaient compensés par l'augmentation de la sécurité par rapport à un travail exécuté dans le gabarit d'espace libre.

Maître de l'ouvrage :

Service des ponts et chaussée du canton de Bâle Campagne

Direction générale des travaux :
Aegerter & Bosshart AG, Bâle

Projet :
Aegerter & Bosshart AG, Bâle

Direction locale des travaux :
Sauber + Gisin

Installations électriques :
Consortium Raetus et Gebr. Heid, Coire et Lausen/BL

Exécution :
1987– 1988

Coût :
Fr. 1.5 Mio, y c. éclairage.

Annexe A

Planification de la maintenance d'un tunnel CFF (Exemple de la direction de l'Arrondissement II des CFF)

A1	Introduction	53
<hr/>		
A2	Normes – Directives – Cahiers des charges	54
A2.1	SIA 169 et directive DG – CFF	54
A2.2	Cahier des charges CFF, direction d'arrondissement II	54
<hr/>		
A3	Conditions générales et déroulement de l'organisation	55
A3.1	Conditions générales pour l'exécution des inspections principales	55
A3.2	Organisation et répartition des tâches	55
A3.3	Procès-verbal de l'état de l'ouvrage	55
<hr/>		
A4	Tâches de la maintenance	57
A4.1	Surveillance	57
A4.2	Entretien	62
A4.3	Renouvellement (rénovation)	62
<hr/>		
A5	Plan de maintenance / programme de maintenance	63
A5.1	Entretien	63
A5.2	Renouvellement (rénovation)	63

A1 Introduction

A1 Introduction

Au début des années 80, les CFF ont pris la décision de planifier systématiquement la maintenance des tunnels des chemins de fer.

C'est ainsi que les critères d'appréciation pour l'ensemble des CFF ont été unifiés, ce qui rend possible la comparaison objective de l'état des ouvrages en tunnels. L'expérience a montré que planifier la maintenance en se basant sur la comparaison des états des ouvrages est d'une importance non négligeable pour les CFF qui gèrent 250 tunnels sur leur réseau.

Au milieu des années 80, sur la base de la recommandation SIA 169 (édition 1987) [1], les CFF ont mis en route l'élaboration de directives internes pour la surveillance systématique, l'inspection et le contrôle des tunnels. Ces directives sont en vigueur depuis 1988.

Sur la base de ces directives un cahier des charges a été élaboré pour l'exécution des inspections dans l'arrondissement II. Les différentes tâches y sont détaillées et réparties par services. Ce cahier des charges sert depuis lors de base à la planification et à l'exécution de toutes les activités en rapport avec l'entretien et la rénovation des ouvrages en tunnel.

La responsabilité générale des ouvrages en tunnel et par conséquent leur surveillance et leur inspection est assurée par chaque région de travaux. Par contre, la section « ouvrages d'art » de l'arrondissement est compétente pour l'appréciation technique des objets et l'exécution des travaux de rénovation.

Ce partage des responsabilités montre l'importance d'une organisation bien structurée et d'une définition claire des compétences entre le moment de l'inspection et celui de l'appréciation technique de l'état des ouvrages.

Les inspections ont débuté en 1991. Durant les deux premières années, elles ont été considérées comme un programme d'essais à grande échelle. Depuis 1993 les inspections proprement dites ont commencé.

La méthode utilisée aujourd'hui pour l'inspection atteint un standard élevé. Sa mise en œuvre est continuellement améliorée sur la base des nouvelles

connaissances et de l'évolution des appareils. Dans le domaine du traitement électronique des données (TED), les nouveaux programmes et l'amélioration continue des capacités des ordinateurs ouvrent continuellement de nouvelles possibilités. Pour ces seules raisons, on ne touchera jamais définitivement au but.

La démarche décrite ci-après, soit la planification de la maintenance qui en résulte, sont propres à l'arrondissement II. Les directives ne sont pas encore en vigueur sur tout le réseau CFF parce que leur application dans la pratique diffère encore d'un arrondissement à l'autre et n'atteint pas encore le même standard d'exécution.

A2 Normes – Directives – Cahiers des charges

A2.1 SIA 169 et directive DG – CFF

La base des directives pour la planification de la maintenance des tunnels est la recommandation SIA 169, édition 1987, Maintenance des ouvrages de génie civil [1].

Pour les travaux de surveillance, d'entretien et de rénovation (voir également chap. 2 et annexe C) les compétences et les responsabilités sont réglées de façon interne aux CFF.

La directive comprend les différents modes de surveillance :

- surveillance continue;
- inspections intermédiaires;
- inspections principales;
- inspections spéciales.

et règle en même temps les compétences et les responsabilités dans les différents domaines (région des travaux, service spécialisé, section ouvrages d'art).

A2.2 Cahier des charges CFF, direction d'arrondissement II

Le cahier des charges de l'arrondissement II, basé sur la directive de la DG, traite principalement de l'inspection principale et règle en détail les compétences et les responsabilités des acteurs. De plus, il aide à vérifier la marche à suivre de la surveillance et les critères d'appréciation.

En complément à la directive, ce cahier traite brièvement de la surveillance continue, des inspections intermédiaires et des inspections spéciales.

L'inspection principale des tunnels est la plus systématique et la plus globale. Elle se fait normalement tous les 5 ans dans le but de reconnaître à temps les défauts, les détériorations et les variations de l'ouvrage ou de son voisinage immédiat qui pourraient être source de dégâts matériels ou de lésions corporelles.

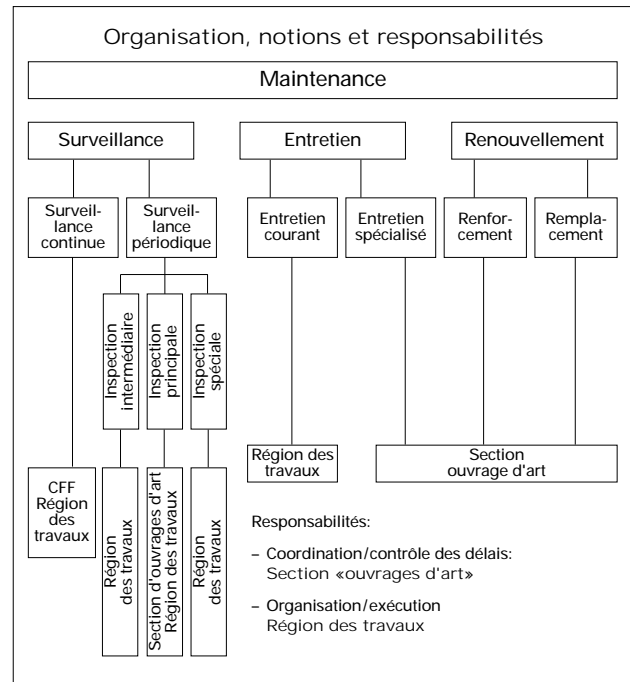


Figure A.1: Compétences pour l'exécution des travaux de maintenance

En d'autres termes: l'inspection principale teste tous les éléments de l'ouvrage quant à leur capacité et leur aptitude au service. Elle fournit également les éléments nécessaires à la planification de la maintenance. Dans le cadre des inspections le tunnel, voûte et portails, est ausculté. L'infrastructure de la voie et les installations ferroviaires ne sont, elles, contrôlées que visuellement. Un contrôle approfondi de ces installations est effectué par les services spécialisés concernés.

A3 Conditions générales et déroulement de l'organisation

A3.1 Conditions générales pour l'exécution des inspections principales

L'arrondissement II compte 125 tunnels, dont 37 km environ à voie unique et 46 km environ à double voie. Les plus anciens ont plus de 125 ans et leur âge moyen se situe entre 90 et 100 ans.

Les revêtements sont pour la plupart en maçonnerie de pierre naturelle. L'auscultation des tunnels à la maçonnerie noircie au temps de la traction à vapeur est beaucoup plus pénible que l'inspection des tunnels plus récents, en général en béton.

Les inspections principales sont soumises aux conditions de l'exploitation de la ligne. Elles se font en règle générale de nuit, parce que de jour, des périodes assez longues sans trafic ne sont pas disponibles (voir fig. 4.4 et 4.5, créneau d'entretien).

Dans la préparation du concept d'auscultation il est essentiel que tous les travaux puissent être exécutés en un seul passage par moitié de tunnel, parce que chaque opération supplémentaire entraîne des perturbations à l'exploitation. Rapportées à tous les tunnels, elles s'additionneraient et se répercuteraient hors proportion.

Pour limiter la durée des auscultations et garantir un déroulement rationnel et optimal des inspections, des véhicules ferroviaires ont été équipés d'installations appropriées.

A3.2 Organisation et répartition des tâches

Les inspections principales sont subordonnées aux conditions de l'exploitation. Une organisation claire et une planification qui règle la répartition des tâches et les responsabilités est indispensable.

Responsabilités: la responsabilité des ouvrages en tunnel incombe aux régions des travaux de la division des travaux. Elles sont responsables du déroulement des inspections.

L'appréciation technique et la comparaison entre les ouvrages sont pour tout l'arrondissement l'affaire des spécialistes de la section « ouvrages d'art ».

Coordination et surveillance des délais: la section « ouvrages d'art » est responsable de toutes les inspections principales. Les délais d'exécution sont fixés après consultation de la région des travaux.

Sécurité: les dispositifs de sécurité sont adaptés à chaque situation. Le sectionnement et la mise à terre de la ligne de contact font partie de ces dispositifs.

Transport, engins de traction: les engins de traction nécessaires au remorquage de la rame de surveillance de même que le personnel connaissant les conditions locales sont mis à disposition par les régions des travaux.

Personnel d'inspection: ce sont aussi les régions des travaux qui mettent à disposition le personnel nécessaire à l'auscultation de la voûte par percussion. En général, une personne compétente dirige une équipe de 3 à 4 hommes.

La section « ouvrages d'art » met à disposition l'équipe d'inspection proprement dite. Elle se compose d'un spécialiste des tunnels pour l'inspection et d'un technicien responsable de la saisie électronique des données des dommages constatés.

A3.3 Procès-verbal de l'état de l'ouvrage

Après l'inspection, l'équipe dresse, avec l'aide du responsable de la région des travaux, le procès-verbal de l'état de l'ouvrage. Les classifications suivantes sont prévues:

Etat de construction

- 1) Pas de défauts ou défauts mineurs.
Aucune mesure à prendre.
- 2) Défauts importants, mais tolérables.
Mesures à prendre dans les 10 ans.
- 3) Défauts majeurs.
Mesures à prendre à court terme.

Entretien

- 1) Prestations d'entretien normales.
- 2) Tendances à l'augmentation des prestations d'entretien.
Préparatifs de mesures recommandés.
- 3) Prestations d'entretien excessives.

Ces appréciations permettent d'établir le classement suivant de l'état des tunnels:

Classement

- 1) Tunnel sans défauts ou seulement avec défauts mineurs. Pas de mesures constructives nécessaires en dehors de l'entretien normal.
- 2) Tunnel avec défauts importants touchant la construction ou l'exploitation, à surveiller. Il faut mettre le tunnel au programme d'entretien spécialisé des 10 prochaines années.
- 3) Tunnel en situation délicate requérant l'élimination à court terme des défauts de construction ou d'exploitation. Il faut mettre à bref délai le tunnel au programme d'entretien ou à moyen terme au programme des travaux de rénovation (priorité II).
- 4) Tunnel avec défauts majeurs qui peuvent mettre directement en danger des personnes ou compromettre la pérennité de l'ouvrage. Il faut mettre à court terme le tunnel au programme des travaux de rénovation (priorité I).

A4 Tâches de la maintenance

A4.1 Surveillance

Généralités

Conditions cadres: la fermeture d'un tunnel ferroviaire exige, à cause de ses implications sur l'horaire, une planification à long terme. Pour les travaux de maintenance les intervalles utilisables ne sont normalement que les heures de nuit où la circulation est la moins dense.

Pour les tronçons à voie unique une intervention même ponctuelle bloque tout le tronçon. Les interventions ne sont donc normalement possibles que pendant l'interruption de trafic de la nuit (intervalle de nuit). Pour les tronçons à double voie le trafic peut être exploité à voie unique entre deux changements de voies. Le cas échéant, la capacité du tronçon peut se trouver fortement réduite.

Pour les fermetures totales, qui ne sont tolérées qu'à titre exceptionnel, des déviations ou des services de bus doivent être organisés. Une planification des intervalles portant sur le réseau et coordonnée entre les différents services spécialisés, est indispensable parce que chaque interruption d'exploitation non programmée entraîne d'importants frais subséquents.

Les travaux sur la voûte d'un tunnel sont exécutés dans la zone de danger de la ligne de contact. Celle-ci doit être mise hors tension et mise à terre. Pour les tunnels à double voie ce danger est augmenté par la ligne de contact de la voie voisine encore sous tension. Les courants induits doivent être conduits à terre et les distances entre les perches de mise à terre sont limitées. Dans les zones d'aiguillage avec croisement des lignes de contact, une planification détaillée est nécessaire avant tout travail.

La réduction de la vitesse sur la voie qui reste en exploitation pendant les travaux dans un tunnel à double voie n'est possible qu'exceptionnellement. Le déplacement d'air et le bruit émis par les trains circulant à proximité rendent les travaux difficiles. Ce sont surtout les trains de marchandises qui présentent un danger pour les équipes d'inspection. L'éclairage et la ventilation mécanique n'existent pas dans les tunnels ferroviaires (exception: S-Bahn à Zurich). Dans les longs tunnels à voie unique les immissions comme par exemple les gaz d'échappement des moteurs diesel rendent les conditions

de travail difficiles. C'est pourquoi il est important d'utiliser des moyens de traction et des générateurs à faible dégagement de gaz d'échappement.

But de la surveillance: il faut limiter la durée d'inspection au maximum, ce qui nécessite une coordination optimale et l'exécution simultanée de tous les travaux. Tous les travaux doivent être faits en un seul passage par moitié de tunnel.

Pour les inspections principales, l'étendue et le caractère du constat sont définis dans le cahier des charges. Ainsi, tous les tunnels de l'arrondissement sont contrôlés selon le même niveau de détail. La comparaison est donc possible et les priorités concernant l'entretien et la rénovation peuvent être établies sur la base d'informations comparables. On fait donc la différence entre les défauts qui mettent en danger la sécurité de l'exploitation et ceux qui sont encore tolérables. Le choix des travaux de maintenance nécessaires se fonde sur les résultats des inspections principales qui déterminent aussi les priorités de l'entretien et des travaux de rénovation. Les défauts à priorité élevée sont appréciés différemment. Par la comparaison des résultats antérieurs on peut se faire une image claire de l'évolution de l'état d'un ouvrage.

Traitement électronique des données (TED): programmes de saisie. La saisie de l'état des tunnels se fait depuis 1992 avec un programme spécial « TunnelControl » qui se base sur la banque de donnée « Superbase ». Le tout fonctionne sur MS-Windows.

Les données de base de chaque tunnel proviennent toutes de la banque de données propre aux CFF (Banque de données des installations fixes, DfA).

Concernant la construction et les défauts, chaque tunnel est subdivisé en éléments de voûte de 10 m de long. Les données peuvent être par la suite traitées pour un ou plusieurs éléments. Les modifications de l'état de l'ouvrage sont directement repérées grâce au « module statistique » du programme TunnelControl. Finalement les nouvelles données de l'état de l'ouvrage sont introduites dans la banque de données. Le traitement de ces données est donc possible par un programme CAD usuel ou pour un traitement statistique par un tableur de type EXCEL.

Le recours aux moyens électroniques a maintenant fait ses preuves malgré les craintes émises au départ. On utilise habituellement, sans mesure de protection particulière, un Note-Book portatif avec un écran externe. Après plusieurs années d'utilisation les influences extérieures (température, humidité, vibrations, etc.) n'ont amené aucune perturbation.

Variantes: des alternatives à la méthode choisie – auscultation visuelle, auscultation par percussion du revêtement – existent sur le marché et ont été testées: scanner pour tunnel, thermographe à infrarouge, géoradar.

Par ces moyens, l'état d'un tunnel peut être saisi en beaucoup moins de temps; le scanner pour tunnel par exemple fournit de l'état de la voûte, une image à échelle exacte en bien moins de temps que l'auscultation et le sondage par percussion. Les dégâts visibles sont localisés exactement au scanner. Cependant la visite sur place ne peut être évitée pour repérer et différencier des dégâts tels que taches d'humidité, zones mouillées ou simples salissures (restes de suie). Comme les anciens tunnels ont souvent une structure porteuse qui n'est pas homogène et qu'on manque à leur sujet d'information sur leur exécution et sur le profil d'excavation, les modes d'auscultation comme le thermographe à infrarouge et le géoradar laissent encore planer trop d'incertitudes pour apprécier de manière fiable les résultats des mesures. Les zones creuses doivent en tous les cas être localisées au marteau et marquées sur place. Les techniques de saisie automatiques connues à ce jour ne peuvent être utilisées, compte tenu des expériences faites, qu'en complément aux inspections réalisées sur place. Leur développement est bien sûr suivi de près.

Préparation

Coordination: dans l'arrondissement II, chaque année environ 16 km de tunnel, répartis dans les cinq régions des travaux, font l'objet d'une surveillance.

Chaque inspection concerne plusieurs services spécialisés des chemins de fer. La coordination du personnel, des intervalles de trafic et des moyens à mettre en œuvre est donc indispensable. Comme moyen de coordination pour les inspections principales les check-lists ont fait leurs preuves.

Banque de données des ouvrages: une documentation rassemblant tous les tunnels est actuellement en préparation. Celle-ci sert également de base à la saisie électronique des données des ouvrages.

Dans le cadre des travaux préparatoires les points de mensuration doivent être munis d'inscriptions supplémentaires pour les reconnaître facilement et sûrement pendant les inspections. Cela facilite les travaux d'auscultation et la comparaison directe avec les résultats précédents.

Le revêtement, les structures porteuses, les joints et les autres éléments connus font déjà partie des données de base de l'ouvrage. S'y ajoutent les dommages recensés dans les inspections antérieures.

Catalogue des dégâts: les dégâts sont répertoriés selon la figure A.2. Des dégâts similaires sont réunis dans les groupes «Eau», «Déformation» et «Zone creuse». Ces regroupements permettent une appréciation claire de l'ensemble des données. Les dégâts relevant de la sécurité doivent être clairement repérables et pouvoir être exprimés séparément des autres défauts. C'est possible grâce à l'indication du niveau de priorité lors de la saisie.

Exécution

Véhicules d'inspection: de bons instruments aident à réaliser une saisie optimale. Un wagon spécial a été construit pour la surveillance des tunnels. Son maniement facile simplifie les travaux. Des plates-formes réglables en hauteur et en largeur sont utilisées pour les inspections. Il est donc possible d'effectuer les sondages à percussion en parallèle à la saisie des dégâts.

Un bon éclairage est essentiel pour un travail rapide. Le wagon de contrôle est équipé au max. de 12 projecteurs d'une puissance de 500 à 1000 watts. Ils sont alimentés en électricité par un générateur diesel d'une puissance de 20 kVA placé sur un véhicule séparé, et équipé d'un catalyseur et d'un capot d'insonorisation.

Localisation: la localisation dans le tunnel se fait avec le nouveau système de mensuration des voies «Laser». Les points de mensuration placés tous les 50 m environ servent de repère au système installé



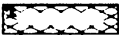


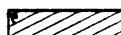


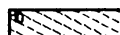




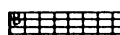
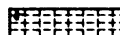

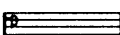





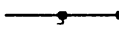
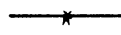
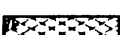
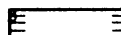
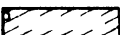
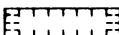
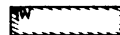
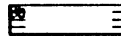
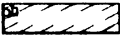


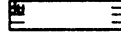
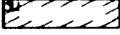
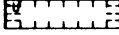
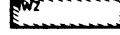

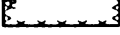
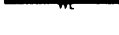
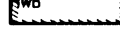
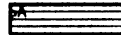
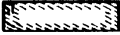

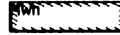



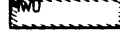
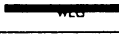



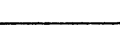














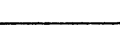














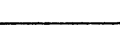











LEGENDE																																																													
Schäden mit Priorität werden mit * gekennzeichnet																																																													
	Tragwerk		Nische		Militärische Einbauten		Vermessungspunkt		Ringluge																																																				
	Feuchstelle		Mörtel weich		Mauerwerk ausgebrochen		Hohlstellen		Abplatzungen																																																				
	Nassstelle		Mauerwerk mürbe oder Kiesnest		Mauerwerk abschalend		Freiliegende Bewehrung		Rissfläche																																																				
	Tropfstellen		Fugen pressend		Fugen leer		Profilleinschränkung		Fehlender Stein																																																				
	Wassereintritt		Druckgelenk		Stein gesenkt																																																								
	Ausblühung		Verformung																																																										
	Beton allgemein		Gunit		Fertigteil allgemein		Mauerwerk allgemein																																																						
	Beton bewehrt		Gunit bewehrt		Fertigteil bewehrt		Kalksandstein																																																						
	Beton unbewehrt		Gunit unbewehrt		Fertigteil unbewehrt		Ziegelstein																																																						
	Betondeckung ungenügend (3.0cm)		Fels		Entwässerungsleitung allgemein (Attributkombinationen möglich)		Betonstein																																																						
	Schutzanstrich		Stahlausbau		Entwässerungsleitung versenkt		Naturstein behandelt																																																						
	Betonersatz		Mauerwerk geschrämt		Entwässerungsleitung freiliegend		Bollenstein																																																						
					Entwässerungsleitung gedeckt																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">RISSATTRIBUTE Gelten für alle Risstypen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Riss<math>0.3\text{mm}</math></td> <td></td> <td>Riss<math>0.5\text{mm}</math></td> <td></td> <td>Riss<math>0.5-0.7\text{mm}</math></td> <td></td> <td>Riss<math>1.0\text{mm}</math></td> <td></td> <td>Riss<math>2.0\text{mm}</math></td> <td></td> <td>Riss<math>5.0\text{mm}</math></td> <td></td> <td>Riss<math>>5.0\text{mm}</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Feucht</td> <td></td> <td>Nass</td> <td></td> <td>Injiziert</td> <td></td> <td>Versetzt</td> <td></td> <td>Feucht Injiziert</td> <td></td> <td>Nass Injiziert</td> <td></td> <td>Feucht Versetzt</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Nass Versetzt</td> </tr> </tbody> </table>										RISSATTRIBUTE Gelten für alle Risstypen											Riss0.3mm		Riss0.5mm		Riss$0.5-0.7\text{mm}$		Riss1.0mm		Riss2.0mm		Riss5.0mm		Riss$>5.0\text{mm}$		Feucht		Nass		Injiziert		Versetzt		Feucht Injiziert		Nass Injiziert		Feucht Versetzt														Nass Versetzt
RISSATTRIBUTE Gelten für alle Risstypen																																																													
	Riss0.3mm		Riss0.5mm		Riss$0.5-0.7\text{mm}$		Riss1.0mm		Riss2.0mm		Riss5.0mm		Riss$>5.0\text{mm}$																																																
	Feucht		Nass		Injiziert		Versetzt		Feucht Injiziert		Nass Injiziert		Feucht Versetzt																																																
													Nass Versetzt																																																

Figure A.2: Catalogue des dégâts pour la saisie de l'état des tunnels

à l'axe du wagon. Après une course d'étalonnage au début de chaque inspection, le système est ajusté aux particularités du tunnel.

Les différences de longueur dues à l'écart entre l'axe de la voie et l'axe du tunnel sont déterminées et comparées par la course d'étalonnage. La correction automatique de la différence « effectif/théorique » est ainsi possible.

Toutes les fonctions de mesure et de surveillance sont reprises par un appareil programmé pour la saisie des données (SPS). Après les hésitations du début ces composants électroniques ont maintenant fait leurs preuves.

Marquage des zones : la technique de saisie utilisée implique de relever les dégâts par zones. La comparaison entre les inspections n'est possible qu'avec une bonne concordance entre les relevés. Cela est très important surtout dans les tunnels à forte courbure comme les tunnels hélicoïdaux de la rampe du Gothard.

On a renoncé à poser des chevilles de géomètre à cause du coût beaucoup trop élevé de leur installation et de leur entretien. L'expérience montre qu'après 5 à 10 ans les chevilles ne sont presque plus visibles à cause des salissures. Elles devraient donc être nettoyées ou même remplacées à grand frais avant chaque inspection.

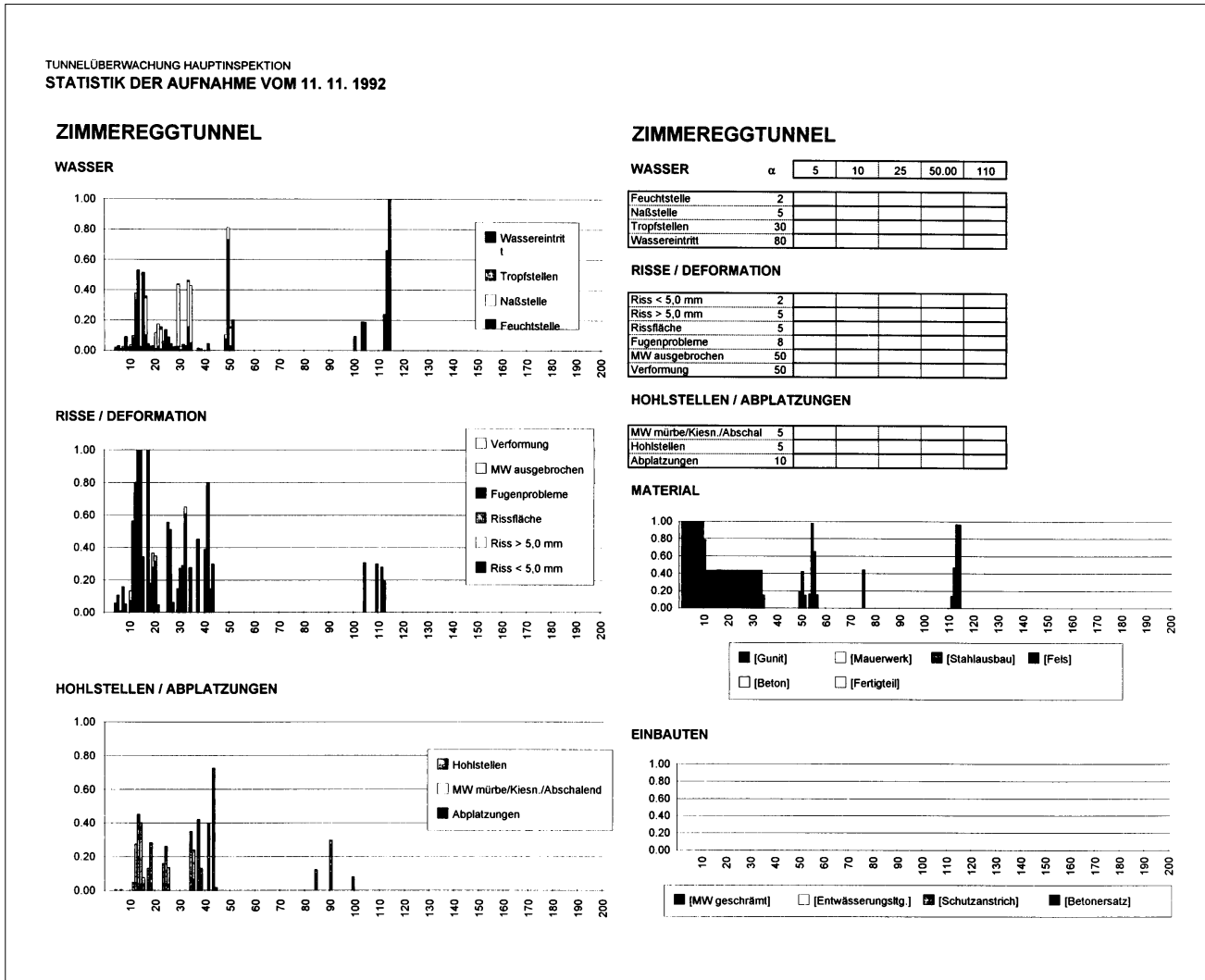


Figure A.3: Représentation graphique de l'auscultation pendant une inspection principale

A la première inspection un arrêt tous les 10 m permet de marquer en couleur la limite de chaque zone. Une automatisation du marquage à l'aide du système de mensuration du wagon est à l'étude.

Sondage à percussion: le contrôle visuel, le sondage à percussion et le relevé de l'état de la voûte se font en un seul passage. Il faut 4 hommes pour le sondage à percussion. Les piédroits sont sondés depuis la voie et les zones supérieures depuis les nacelles.

Le système électronique saisit directement la position et l'étendue des zones creuses. Celles inférieures à 1 m² sont considérées comme ponctuelles.

Relevé visuel des dégâts: le degré de précision du relevé de l'état est important à cause des frais, du temps de travail et des intervalles nécessaires qui augmentent exponentiellement avec le degré d'auscultation.

Dans le cadre de l'inspection principale, on attache le plus d'importance à un relevé rapide et complet de l'ouvrage. La position des dégâts est estimée à vue d'œil à l'intérieur d'une zone de 10 m et introduite avec le code du dégât (voir fig. A.2 et A.3). Les dégâts avec un haut degré de priorité, qui nécessitent une auscultation immédiate plus détaillée, sont désignés spécialement pour procéder de suite à une appréciation particulière. Le niveau de détail, pour la reconnaissance des zones repérées comme endommagées, est affiné afin d'avoir de meilleures informations pour apprécier l'état de l'ouvrage et prévoir son entretien. En plus, le concept d'auscultation et la technique de saisie permettent en tout temps des relevés détaillés en vue de l'avant-projet, du projet définitif et du projet d'exécution.

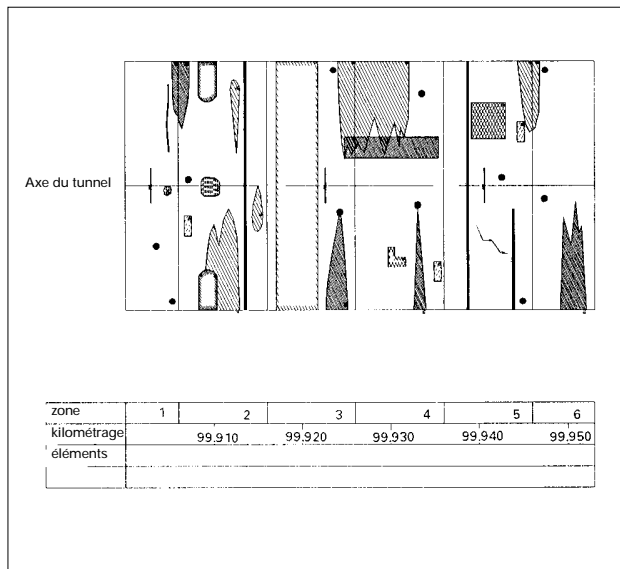


Figure A.4: Saisie des dégâts dans le programme TunnelControl

La classification objective des dégâts dans le catalogue des dégâts nécessite une bonne pratique d'inspection. Afin d'éviter de recevoir des appréciations différentes pour chacun des 125 objets de l'arrondissement, les inspections sont menées par une équipe expérimentée de 4 à 5 hommes.

Drainages: il n'est pas possible, pour des questions d'organisation, de prévoir le contrôle des drainages des tunnels, au miroir ou par rinçage, en même temps que les autres contrôles. Ils sont donc

exécutés en dehors des inspections principales. Les vieux tunnels ne sont souvent équipés que de peu de cheminées de contrôle et de dépotoirs, en général difficiles d'accès. Les travaux de surveillance et d'entretien sont dans ce cas bien plus coûteux.

Installations techniques: les lignes de contact, les câbles, les installations de sécurité, les voies etc. sont surveillés et entretenus séparément par les services spécialisés concernés. Ces travaux se font en général pour tout un secteur dont les tunnels ne représentent que des tronçons partiels.

Dans le cadre de la banque de données des installations fixes (DfA), les données concernant l'état des installations techniques sont réunies ce qui permet d'avoir une vue d'ensemble de l'état général d'un ouvrage.

Exploitation des résultats

Les données saisies pendant une inspection principale forment un nombre considérable d'informations qui doivent être exploitées. L'exploitation des résultats rassemble toutes les données pour en tirer une vue d'ensemble.

Fiches d'entretien: les dégâts sont introduits par zones et chaque zone est imprimée en couleur à l'échelle 1:100 sur un format A4. Ces fiches sont utiles à l'appréciation locale des dégâts à grande priorité qui exigent des travaux d'entretien concrets.

Bandes de relevés: par traitement électronique des données, les fiches d'entretien sont assemblées et réduites dans le sens de la longueur à l'échelle 1:200 ou plus petit. Ces montages sont appelés bandes de relevés (Stollenbänder). C'est une aide graphique qui permet l'appréciation globale des dégâts en évitant une montagne de papperasse.

Statistique: la statistique présente une vue d'ensemble des dégâts essentiels et leur variation dans le temps. Elle permet d'étayer la comparaison entre tous les tunnels. C'est une base importante pour la planification des travaux d'entretien et de rénovation et pour la planification du budget.

Procès-verbal de l'état de l'ouvrage: le procès-verbal de l'état est établi directement dans le tunnel. Les dégâts graves y sont décrits et les mesures d'entretien proposées y sont consignées.

Chaque année se tiennent des réunions où les participants discutent des résultats pour procéder au classement de l'état de chaque objet. Pour les travaux d'entretien urgents, la marche à suivre est également définie lors de ces réunions.

A4.2 Entretien

Pour les CFF l'entretien des tunnels se fait de façon autonome par chaque région des travaux. La coordination détaillée de ces travaux entre les différents services et spécialement pour ce qui touche aux installations, offrira à l'avenir de grandes possibilités d'optimisation qui portera ses fruits aussi dans le domaine du budget.

L'entretien n'est toutefois pas encore la préoccupation principale des directives et des recommandations en vigueur.

A4.3 Renouvellement (rénovation)

Les chapitres 5.2 et 5.3 illustrent par deux exemples les aspects essentiels de la préparation et de l'exécution des travaux de rénovation dans des tunnels des chemins de fer.

A5 Plan de maintenance/programme de maintenance

Une planification étendue de la maintenance est à l'étude. Elle devra prendre en compte aussi bien la planification de l'entretien que la rénovation des ouvrages. Un des prochains objectifs, dans la perspective d'une planification optimale du budget, est d'élaborer une directive dans ce sens.

Les travaux d'entretien sont exécutés dans le cadre de la planification de la maintenance en respectant le cadre financier à disposition.

A5.1 Entretien

L'expérience montre que le montant des équipements représente, en règle générale, 25 % du coût d'un projet d'entretien. C'est pourquoi il est indispensable que les machines, outils et appareils nouveaux montés sur wagon soient utilisés par toutes les régions des travaux de l'arrondissement.

A5.2 Renouvellement (rénovation)

La planification des travaux de rénovation existe aux CFF depuis quelques années déjà. Ce qui est nouveau c'est qu'elle disposera de meilleures bases grâce à l'exploitation des données fournies par la surveillance et les inspections.

Le planning général donne une vue d'ensemble des délais (fig. A.5). Un extrait de cette planification est donné ici pour la direction de l'arrondissement II.

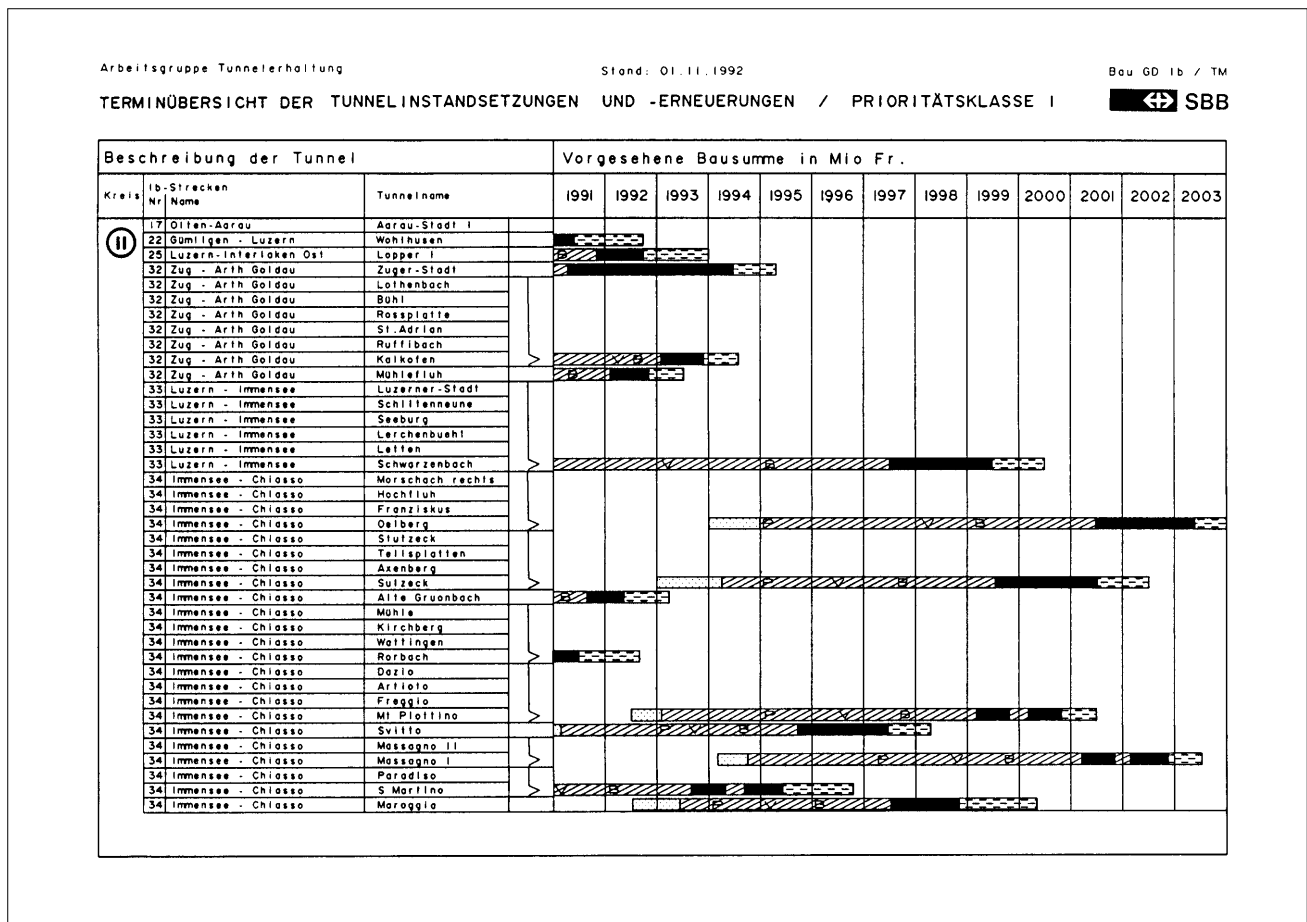



Figure A.5: Planification de la maintenance: planning général avec vue d'ensemble des délais

La planification des travaux de rénovation se fait à long terme pour les raisons suivantes :

- Le déroulement d'un projet (cahier des charges, avant-projet, projet définitif) prend beaucoup de temps. En règle générale, on compte une durée de planification de 3 à 5 ans. Ce délai est suffisant pour planifier la fermeture de tronçons. Les intervalles peuvent être réservés dans une période où des espaces libres sont encore à disposition.

La planification financière s'effectue à moyen et à long terme (fig. A.6). C'est important à cause des grands investissements que nécessitent les travaux de rénovation.

Arbeitsgruppe Tunnelerhaltung Stand: 01.11.1992 Bau GD Ib / TM

KOSTENÜBERSICHT DER TUNNEL INSTANDSETZUNGEN UND -ERNEUERUNGEN / PRIORITÄTSKLASSE I 

Beschreibung der Tunnel			Vorgesehene Bausumme in Mio Fr.													
Kreis	Ib-Strecken Nr | Name	Tunnelname	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
	17	Ollen-Aarau	Aarau-Stadt I													
	22	Gömligen - Luzern	Wohlihusen	1,0												
	25	Luzern-Interlaken Ost	Löppar I	1,8	1,9											
	32	Zug - Arth Goldau	Zuger-Stadt	5,5	8,0	7,0										
	32	Zug - Arth Goldau	Lothenbach													
	32	Zug - Arth Goldau	Bühl													
	32	Zug - Arth Goldau	Rosspalte													
	32	Zug - Arth Goldau	St. Adrian													
	32	Zug - Arth Goldau	Ruffibach													
	32	Zug - Arth Goldau	Kalkofen													
	32	Zug - Arth Goldau	Mühletfluh		1,5	4,0	0,3									
	33	Luzern - Immensee	Luzerner-Stadt													
	33	Luzern - Immensee	Schilleneune													
	33	Luzern - Immensee	Seeburg													
	33	Luzern - Immensee	Lerchenbucht													
	33	Luzern - Immensee	Lellen													
	33	Luzern - Immensee	Schwarzenbach					0,5	14,0	28,0	14,0	0,5				
	34	Immensee - Chiasso	Morschach rechts													
	34	Immensee - Chiasso	Hochfluh													
	34	Immensee - Chiasso	Franziskus													
	34	Immensee - Chiasso	Oelberg							0,5	8,0	14,0	7,0	0,50		
	34	Immensee - Chiasso	Sulzeck													
	34	Immensee - Chiasso	Tellisplatten													
	34	Immensee - Chiasso	Axenberg													
	34	Immensee - Chiasso	Sulzeck							0,5	8,0	16,0	12,0	0,50		
	34	Immensee - Chiasso	Alle Gruonbach	1,0	3,0											
	34	Immensee - Chiasso	Mühle													
	34	Immensee - Chiasso	Kirchberg													
	34	Immensee - Chiasso	Wöllingen													
	34	Immensee - Chiasso	Reb bach	7,0												
	34	Immensee - Chiasso	Dazio													
	34	Immensee - Chiasso	Artiglio													
	34	Immensee - Chiasso	Fraggio													
	34	Immensee - Chiasso	Mi Piottino							0,5	6,0	5,0	0,5			
	34	Immensee - Chiasso	Svitto					0,5	7,0	7,0	0,5					
	34	Immensee - Chiasso	Mossagno II													
	34	Immensee - Chiasso	Mossagno I									0,5	5,5	5,5	0,5	
	34	Immensee - Chiasso	Paradiso													
	34	Immensee - Chiasso	S. Martino			5,0	9,1	3,0								
	34	Immensee - Chiasso	Maroggia						0,5	5,0	5,0	1,0				
				16,3	14,4	16,0	9,4	3,5	8,0	26,0	35,0	37,0	36,0	25,0	6,5	0,5

Figure A.6: Planification de la maintenance: plan d'investissement à long terme

Annexe B

Planification de la maintenance d'un tunnel des routes nationales

(Exemple : planification de la maintenance pour le tunnel du
Gothard N2)

B1	Démarche	67
B2	Tâches de la maintenance	68
B3	Trafic	69
B4	Créneaux d'entretien	70
B5	Concept de maintenance	73
B5.1	Exécution de l'entretien avec fermeture temporaire du tunnel	73
B5.2	Augmentation de la capacité de la route du col	74
B5.3	Déviation du trafic par la galerie de sécurité	74
B5.4	Transport ferroviaire	74
B6	Plan de maintenance G2000	75
B7	Plan quinquennal, programme des travaux	78
B8	Projet de maintenance	80
B9	Expériences et situation actuelle	81

B1 Démarche

La planification de la maintenance pour le tunnel routier du Gothard sur la N2 (planification de l'entretien G2000) a été mise sur pied pendant les années 1989/1990. Depuis janvier 1991, les travaux de l'entretien courant et du gros entretien se font sur la base de ce concept approuvé par la commission d'exploitation. La planification devait s'étendre à une période de 20 ans.

Le tunnel autoroutier, constitué d'un seul tube d'une longueur de 16 km, situé à une altitude de 1100 m est sollicité, avec son régime de trafic bidirectionnel, d'une façon particulièrement importante. Les restrictions de trafic qu'occasionnent les travaux d'entretien ne sont possibles que de manière réduite sur cette liaison internationale nord-sud. C'est pourquoi, pour la planification de la maintenance du tunnel du Gothard, la coordination entre le trafic et les travaux a joué un rôle central.

L'état de l'ouvrage et des installations électromécaniques a été recensé et l'ensemble des besoins de maintenance a été établi pour les secteurs du génie

civil, de la mécanique, de la ventilation et de l'électricité. Une évaluation de l'évolution à long terme du trafic, les courbes de trafic journalier et hebdomadaire, fait aussi partie de la planification.

Les différents concepts d'entretien ont été pondérés en fonction des entraves au trafic, des moyens à mettre en œuvre, des charges sur l'environnement et des risques d'accident. La capacité des différents créneaux d'entretien a pris une importance capitale pour le trafic et les travaux.

Le concept d'entretien considéré comme le meilleur a été aménagé en plan de maintenance à long terme.

Partant de ce plan de maintenance un plan quinquennal a été mis au point. Ce plan tient compte du trafic prévu, de l'effectif du personnel du service d'entretien et des moyens financiers à disposition. Il a permis d'établir les plans annuels ainsi que les programmes de travaux des services d'entretien.

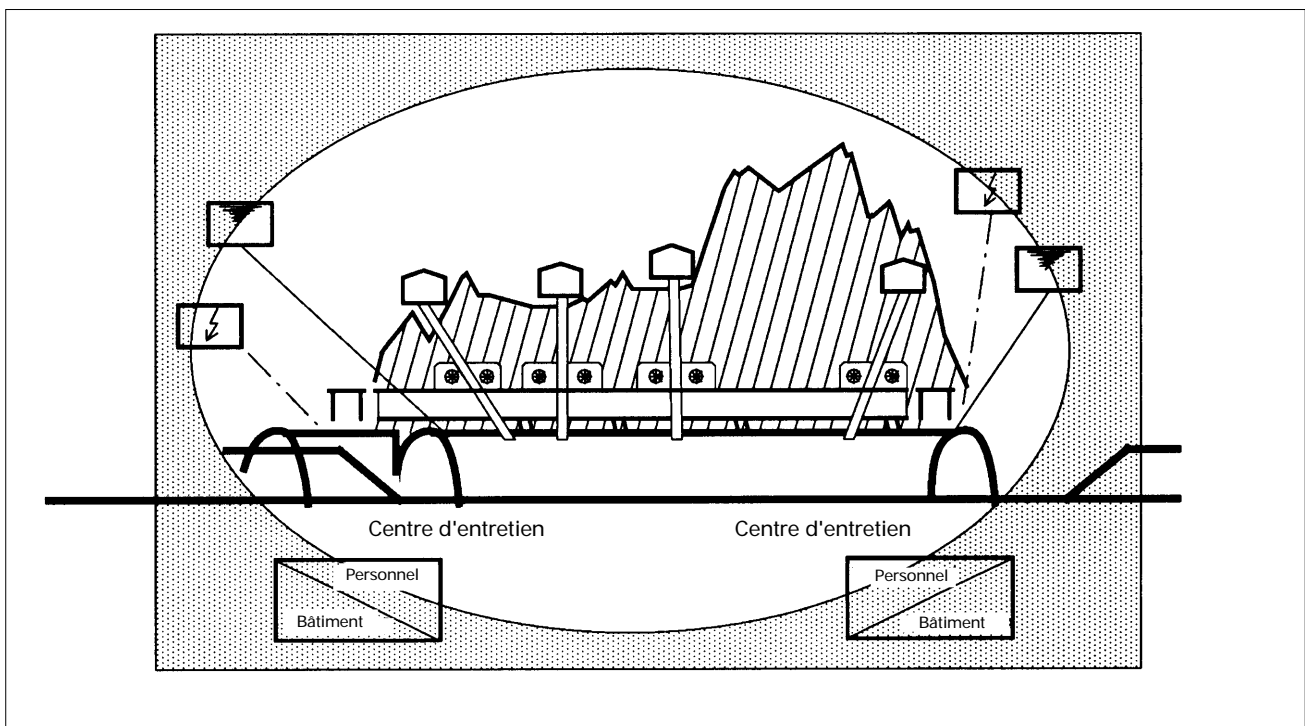


Figure B.1: Profil en long schématique du tunnel du Gothard représentant les limites de la planification de la maintenance

B2 Tâches de la maintenance

Les informations concernant toutes les tâches de la maintenance nécessaires à la planification – environ 670 travaux périodiques – sont traitées par un système d'information développé pour ce projet à l'aide du système de banque de données dBase IV. Les données de la planification contiennent, en plus de la désignation de la tâche d'entretien, les besoins en temps et en moyens, l'occupation dans la galerie routière et les informations sur le moment d'exécution propre.

Le démarche suivante a été appliquée lors de l'établissement des besoins de maintenance :

- Les tâches de l'entretien courant ont été déterminées à partir du plan d'utilisation de l'auteur du projet complétées par les expériences d'exploitation des services d'entretien. Le moment d'exécution des tâches et la fréquence de ces dernières ont été adaptés en fonction de l'appréciation de l'état des installations.
 - Les tâches du gros entretien ont été établies sur la base de l'appréciation de l'état actuel des installations, des sollicitations locales et de la durée de vie résiduelle estimée, ainsi que de leur incidence sur la sécurité du trafic et de l'exploitation (analyse des points faibles). L'auscultation de l'ouvrage, l'évaluation des rapports d'expertise existants et les travaux effectués ont également servi à l'établissement de l'inventaire.
- Les tâches de rénovation ont été établies sur la base des informations concernant la durée d'amortissement des ouvrages et des installations [10] et en fonction de l'appréciation de l'état actuel de l'installation et des sollicitations locales.

Le projet du tunnel et de ses installations date des années 1965 à 1968, la mise en soumission de 1968 et la mise en service de 1980. L'ouvrage est en bon état si l'on considère l'importance du trafic et des immissions de matières nocives. Durant les 10 premières années d'exploitation les dépenses par kilomètre et par année se sont montées à environ 270 000 fr. pour l'entretien courant et 120 000 fr. pour des travaux de réfections. Les tâches d'entretien et de rénovation, nécessaires à maintenir une sécurité suffisante pour l'exploitation de l'ouvrage, augmentent avec le vieillissement. Certains composants électriques doivent être remis en état après 10 à 15 ans d'exploitation, certaines parties de la ventilation après 8 ans et les éléments de l'ouvrage de génie civil après 15 à 25 ans. Sur les 667 opérations de maintenance (194 dans le secteur du génie civil, 95 dans celui de la mécanique, 253 dans celui de la ventilation et 123 dans le secteur de l'électricité) 559 tâches peuvent être effectuées sans toucher ni perturber le trafic ; 108 doivent être réalisées à l'intérieur de la galerie routière.

E. Basler & Partner Ingenieurunternehmen 8702 Zollikon		UNTERHALTSPLANUNG G 2000 NECESSITA DI MANUTENZI C					
Code Codice	System Sistema	Bauteil Parte Costruzione	Bereich Settore	Tätigkeit Attività	Z U_Pakt O	Perio Er:	Er: Tel:
M2 09 01 03	Entwässerung	Ölabscheider/Sandfang	Haupttunnel	Unterhalt Räumern und Pumpen, Entleerung	B UP-890	1.00	19
M2 10 15 01	Entwässerung	Pumpenkammer	Vortunnel	Wartung Pumpen	B UP-890	1.00	19
M2 10 15 02	Entwässerung	Pumpenkammer	Vortunnel	Ersatz Pumpen	C UP-890	10.00	20
M3 01 01 01	Wasserversorg.	Hydranten	Haupttunnel	Ersatz U'flurhydranten	E UP-890	30.00	20
M3 01 15 01	Wasserversorg.	Hydranten	Vortunnel	Ersatz	E UP-890	30.00	20
M3 02 01 01	Wasserversorg.	Druckwasserleitung	Haupttunnel	Spülen Leitung, Kontr. Schieber	B UP-821	1.00	19
M3 02 01 02	Wasserversorg.	Druckwasserleitung	Haupttunnel	Kontrolle Hydranten	B UP-821	1.00	19
M3 02 01 03	Wasserversorg.	Druckwasserleitung	Haupttunnel	Zustandskontrolle (stichprobenweise)	B UP-821	1.00	19
M3 02 01 05	Wasserversorg.	Druckwasserleitung	Haupttunnel	Ersatz Hauptleitung	E UP-890	25.00	20

Figure B.2: Liste des tâches d'entretien dans le secteur mécanique (extrait)

B3 Trafic

Le trafic a doublé pendant les dix premières années d'exploitation, passant de 2.9 millions de véhicules par année en 1981 à 5.8 millions en 1991. Jusqu'à aujourd'hui les périodes creuses du trafic ont toujours été suffisantes pour réaliser les travaux d'entretien. Cela signifie qu'il a toujours été possible de les mener à bien sans grandes perturbations du trafic. Par contre les difficultés pour le personnel de l'entretien qui doit travailler dans la galerie routière ont augmenté.

La planification de la maintenance G2000 avait entre autre pour but de prévoir à long terme les périodes creuses du trafic. La base retenue pour cette évaluation est le scénario « haut » des NLFA qui prévoit une forte augmentation du trafic jusqu'à 9.3 millions de véhicules en 2010. Cette hypothèse ne laisse que très peu de périodes creuses pour l'exécution de la maintenance.

Les courbes de trafic journalier (véhicules par heure) pour les différentes périodes de l'année, du mois et des jours de la semaine ont été extrapolées sur la base des prévisions du trafic utilitaire, du trafic touristique, de la mobilité et de la modification du trafic en cas de bouchons. Ces courbes ont permis de déterminer les périodes creuses du trafic.

Ces pronostics de trafic ont pour principal enseignement de montrer qu'en période estivale le trafic va continuer à croître fortement, aussi bien durant le week-end que pendant les jours ouvrables et en particulier dans la nuit du vendredi au samedi. En revanche, hormis les périodes de vacances, on peut s'attendre même pendant le semestre d'été, à un trafic nocturne relativement faible durant les nuits de lundi au jeudi.

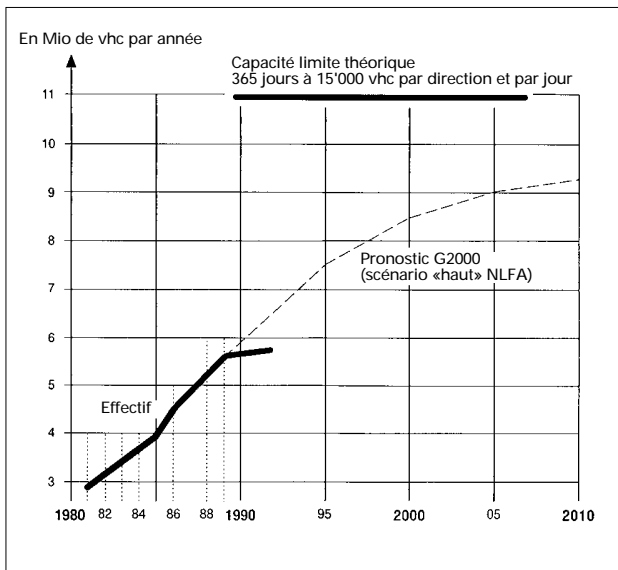


Figure B.3: Trafic annuel 1980 – 2010 (prévisions 1989 – 2010 d'après le scénario « haut » des NLFA)

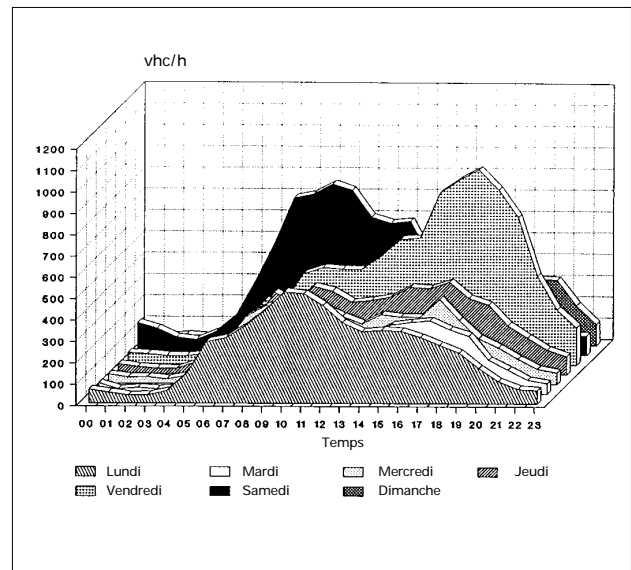


Figure B.4: Trafic typique d'une semaine (octobre 1989, sens nord-sud)

B4 Créneaux d'entretien

La plupart des travaux d'entretien dans la galerie routière peuvent être réalisés par chantiers isolés (fermeture d'une piste sur un tronçon de signalisation de 250 m). Pour quelques rares activités telles que le remplacement de la dalle intermédiaire ou le renouvellement de la couche de surface, il est nécessaire de fermer complètement le tunnel au trafic.

Cinq types de créneaux d'entretien ont été mis au point pour le tunnel bidirectionnel du Gothard qui se différencient dans le domaine du trafic (organisation et efficacité de la gestion du trafic) et dans le domaine de l'exécution des travaux d'entretien (conditions du milieu et efficacité de la réalisation) (voir fig. B.5).

Un créneau d'entretien type I permet de réaliser au maximum trois chantiers simultanément pendant une nuit (durant l'interdiction de circulation du trafic lourd de 22 h 00 à 05 h 00; la gestion du trafic se fait par une signalisation lumineuse).

Si le trafic diminue en dessous de 400 véhicules par direction et par heure, il est alors possible d'aménager simultanément jusqu'à trois chantiers sur les 16 km du tunnel sans provoquer ni perturbations intolérables, ni bouchons (fig. B.7). Le temps d'attente au feu rouge devant un chantier de ce type est de l'ordre de quelques minutes. Selon les pronostics sur l'évolution du trafic, il devrait y avoir en l'an 2000 environ 160 nuits par année où des chantiers peuvent être aménagés dans un créneau de type I (fig. B.8).

La comparaison des différents créneaux d'entretien (CE) quant à leur efficacité se réfère à la réalisation normale et usuelle des activités de l'entretien dans un créneau de type I. L'efficacité du créneau pour la réalisation des travaux d'entretien est exprimée en un multiple de la valeur du CE type I (voir fig. B.5).

La somme de tous les besoins de maintenance montre que sur la période de planification (jusqu'en 2010), il faut au minimum 180 et au maximum 700 créneaux d'entretien de type I par année pour réaliser tous les travaux planifiés, soit une moyenne de 300 CE de type I par an (fig. B.6).

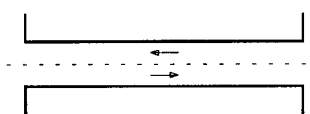

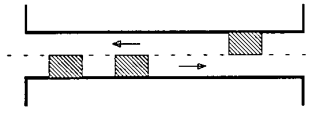

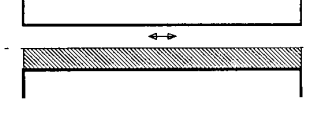

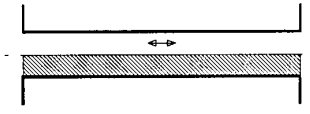

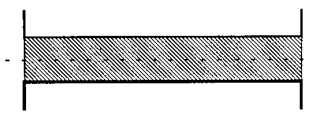

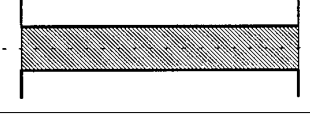
	Remarques	Capacité en véhicules (vhc) par heure et par direction, tunnel et déviation par le col-comprise	Capacité pour l'entretien (facteurs)
	Aucune perturbation Trafic libre dans le tunnel	1000 vhc par le tunnel	0
Route du col du St-Gothard	Déviation du trafic	570 vhc de jour avec camions 720 vhc de nuit sans camions	
Créneau d'entretien type I  	3 chantiers isolés dans le tunnel Exécution des travaux sous trafic	400 vhc par le tunnel	1
Créneau d'entretien type II  	De nuit, une piste fermée en alternance chaque heure. Exécution des travaux sous trafic	350 vhc par le tunnel en plus de la déviation possible par le col en été	env. 3
Créneau d'entretien type III  	Jour et nuit, une piste fermée, l'autre utilisée en alternance chaque heure. Exécution des travaux sous trafic.	350 vhc par le tunnel en plus de la déviation possible par le col en été	env. 3 x 3
Créneau d'entretien type IV  	Jour et nuit, une piste fermée, l'autre utilisée en alternance chaque heure Exécution des travaux sans trafic	720 vhc de nuit, sans camions, par la déviation	10 à 15
Créneau d'entretien type V  	Tunnel fermé pendant 24 heures. Déviation Exécution des travaux sans trafic	570 vhc, de jour, avec camions, par la déviation 720 vhc, de nuit, sans camions, par la déviation	3 x 15

Figure B.5: Créneaux d'entretien pour le tunnel routier du Gothard

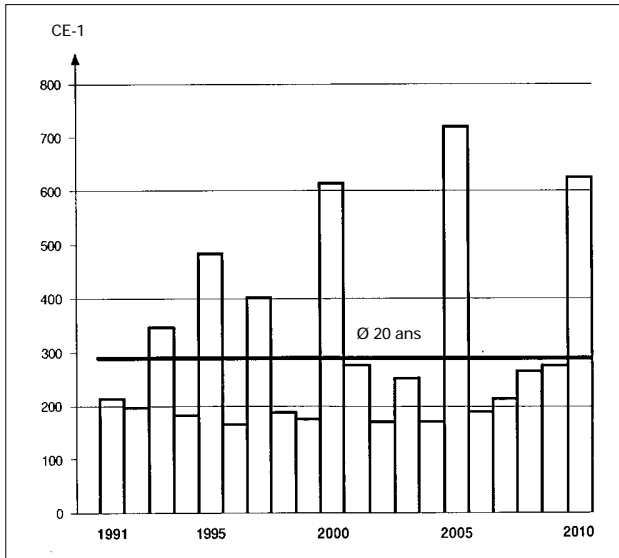


Figure B.6: Créneaux d'entretien de type I nécessaires par année pour l'exécution des travaux d'entretien

Le calcul de la place et du temps nécessaires à la réalisation des travaux montre de manière précise que l'entretien a besoin de plus d'espace, c'est-à-dire de plus de CE de type I, que ce que la gestion du trafic peut offrir sans perturber de manière trop importante la circulation. La fermeture complète du tunnel (CE de type IV) est du point de vue pratique l'alternative valable. Pour ces créneaux, la circulation est déviée en été par le col. Cette solution n'est possible que 80 nuits environ par année sans surcharge de trafic. Si l'on exclut les périodes de vacances et que l'on ne considère que les blocs de 4 nuits d'affilée, l'ouverture estivale du col n'offre plus que 50 nuits. Dans l'hypothèse où la fermeture nocturne au trafic permet 10 à 15 fois plus de travaux, l'offre en CE de type I de la période estivale se situe entre 500 à 750 unités au maximum.

On a donc pu montrer qu'à long terme l'exécution de tous les travaux d'entretien planifiés étaient possibles pour autant que le trafic soit dévié par le col, le tunnel mis hors service et mis à disposition de l'entretien ceci la nuit pendant quelques semaines par été.

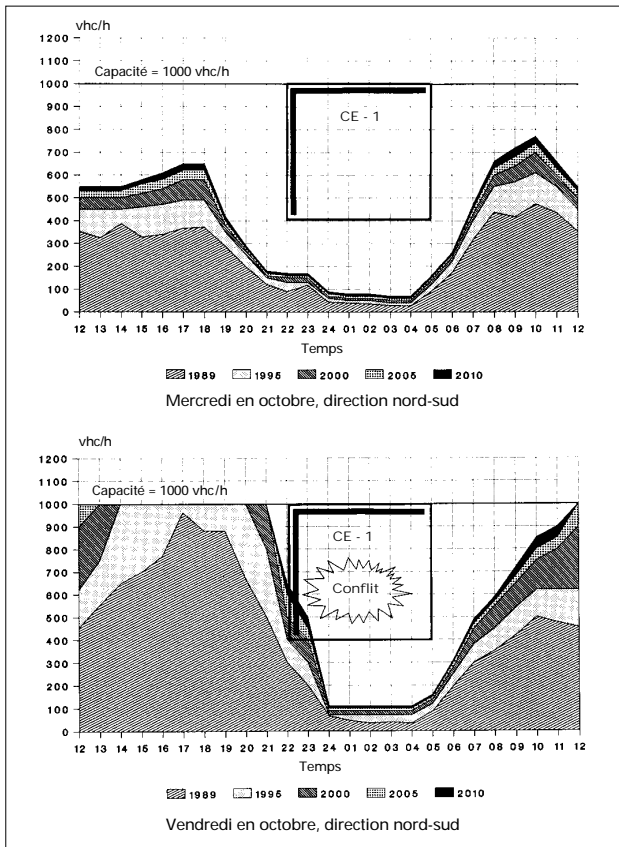


Figure B.7: Courbes journalières de trafic et créneaux d'entretien

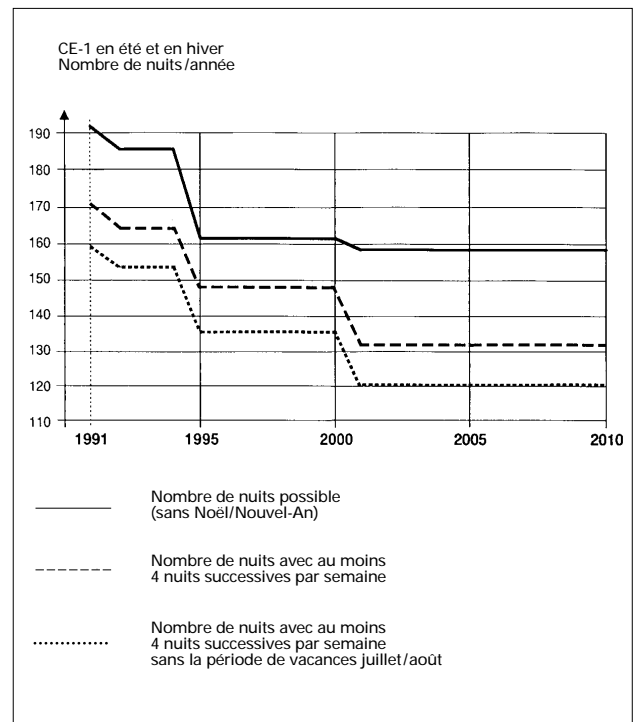


Figure B.8: Créneaux d'entretien de type I suivant l'évolution du trafic

B5 Concept de maintenance

B5.1 Exécution de l'entretien avec fermeture temporaire du tunnel

Pour rechercher tous les créneaux d'entretien possible, du chantier isolé (CE type I) à la fermeture complète du tunnel (CE types IV et V), différentes solutions ont été comparées (fig. B.9) Une appréciation basée sur des critères quantitatifs et unifiés a permis de mettre en évidence la solution optimale. Ces critères représentaient dans un système d'appréciation toutes les exigences de la planification de l'entretien G2000. Quatre buts principaux ont été fixés: le coût (minimaliser les engagements financiers), le trafic (minimaliser les perturbations du trafic nord-sud), la sécurité (minimaliser les risques d'accident pour le personnel de l'entretien, pour les usagers et le voisinage) et l'environnement (minimaliser les risques pour la santé et les atteintes à l'environnement). Dans le domaine du trafic par exemple, on a tenu compte du coût supplémentaire pour l'usager causé par l'allongement du trajet (déviation par le col) ou de la perte de temps (temps d'attente) lors des perturbations, planifiées ou non. Dans le domaine de l'environnement les coûts supplémentaires ont été déterminés en tenant compte de l'utilisation accrue de la ventilation mécanique nécessitée par les travaux dans le tunnel et les mesures de protection contre le bruit exigées par l'augmentation du trafic sur la route du col. Le coût des risques accrus pour le personnel de l'entretien, pour les usagers et les tiers (lors de déviations) est chiffré dans le coût de la sécurité.

L'analyse des différentes combinaisons d'exécution des travaux en chantiers isolés (CE type I) ou pendant des fermetures du tunnel (CE type IV) a montré que du point de vue du trafic les travaux exécutés avec fermeture du tunnel sont plus économiques. Mais les perturbations de trafic ne peuvent pas dépasser – ou que de très peu – l'interdiction nocturne du trafic lourd sans que les coûts du trafic augmentent rapidement.

Les tâches prioritaires de l'exploitation (service des centrales, permanence incendie, etc.) absorbent constamment une grande partie de la capacité de travail. A cause des vacances, de la compensation des heures supplémentaires, des jours fériés et de la période de la chasse, le personnel n'est pas toujours disponible au moment voulu pour les travaux d'entretien. C'est pourquoi l'offre en créneaux d'entretien ne peut être entièrement exploitée (fig. B.10) par le personnel d'entretien.

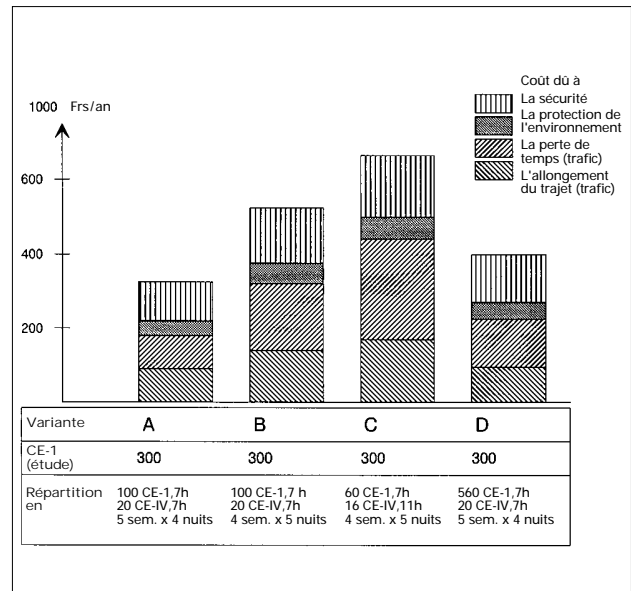


Figure B.9: Comparaison des différentes solutions d'exécution de l'entretien

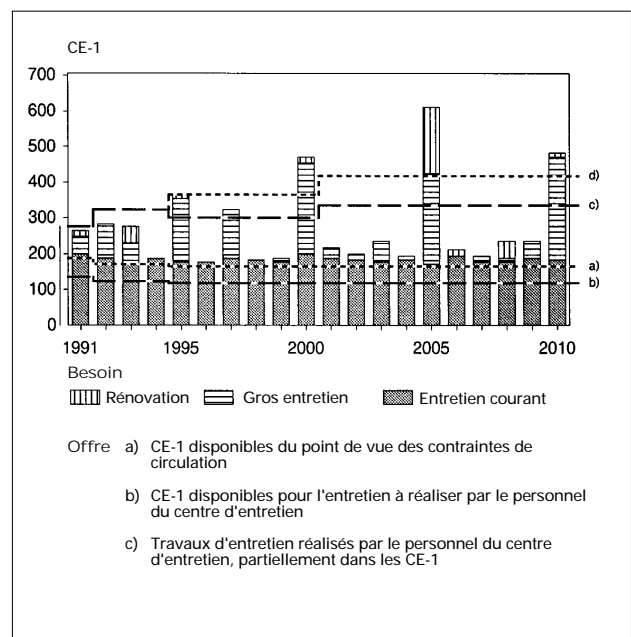


Figure B.10: Occupation annuelle du gabarit d'espace libre pour les travaux d'entretien. Comparaison de l'offre et de la demande

Afin d'améliorer l'efficacité de l'engagement du service d'entretien, la durée des fermetures nocturnes a été portée à 9 heures (de 20 h à 05 h), mais en renonçant au vendredi soir durant les trois semaines de fermeture (une semaine au printemps et deux en automne). De 20 h à 22 h, c'est-à-dire jusqu'à l'interdiction légale de circulation du trafic lourd, les camions sont soit parqués avant l'entrée du tunnel, soit déviés par le col. Cette prolongation du temps de travail pendant les semaines de fermeture et grâce à une organisation efficace, la capacité d'une nuit de fermeture est de 20 à 30 fois supérieure à celle de chantiers isolés sous trafic.

B5.2 Augmentation de la capacité de la route du col

Si le tunnel devait être chaque fois fermé, au printemps ou en arrière-automne, pendant plusieurs semaines, il deviendrait tout d'abord nécessaire d'aménager la route du col. Cela exigerait la réalisation d'importants ouvrages : paravalanches, ouvrages de protection, corrections de route, reboisements. Le coût de ces travaux peut être devisé de 300 à 400 millions de francs, auxquels s'ajoute environ 1 million de francs par an pour l'entretien.

Cette solution ne s'est pas – et de loin – révélée judicieuse et n'a pas été étudiée plus en détail. Par contre les mesures nécessaires à l'amélioration de la sécurité des usagers, déviés par le col par mauvais temps, ont été prises (marquage, signalisation, salage et déneigement).

B5.3 Déviation du trafic par la galerie de sécurité

La galerie de sécurité (Sicherheitstollen = Sisto) est parallèle au tunnel du Gothard à une distance de 23 m. Sa section est d'environ 2.5 x 2.5 m. Elle est ventilée séparément et elle est reliée au tunnel principal par un local technique tous les 250 m. La déviation du trafic par cette galerie n'est possible qu'au prix de gros investissements dans le génie civil (élargissement du profil de la galerie).

Des études ont montré par contre qu'il est possible de placer dans la galerie de sécurité, fort peu mise à contribution, des conduites qui devraient être remplacées à grand frais dans le tunnel routier. Cette nouvelle affectation de la galerie de sécurité n'est possible qu'à la condition de ne pas entraîner de nouveaux risques et de la laisser en tous temps disponible comme chemin de fuite.

B5.4 Transport ferroviaire

Jusqu'à l'ouverture du tunnel autoroutier les véhicules étaient transportés par trains CFF pendant l'hiver. Les gares de chargement d'Airolo et de Göschenen existent toujours mais elles ne sont plus entretenues. Le matériel roulant n'est plus que partiellement en état de marche.

Remettre en fonction le chargement sur train du trafic routier pour les seules périodes d'entretien du tunnel est beaucoup plus coûteux que toutes les autres solutions. C'est pourquoi dans la planification de l'entretien du tunnel du Gothard, cette solution n'est retenue que comme réserve stratégique. En cas de force majeure elle pourrait devenir d'actualité et devrait être discutée avec les CFF. La mise en service de cette solution demande au minimum deux ans.

B6 Plan de maintenance G2000

Le plan de maintenance G2000 dresse la liste des 670 activités d'entretien répétitives. Les 110 tâches qui doivent être exécutées dans la galerie routière nécessitent la mise sur pieds de 300 chantiers isolés d'une durée d'une nuit. Les règles suivantes régissent les 300 créneaux d'entretien de type I : on doit planifier au début du mois de juin et à la fin du mois de septembre, sur un total de 3 à 4 semaines, 240 chantiers isolés (c'est-à-dire 240 CE type I) pendant les nuits du lundi au jeudi, ce qui exige demande la fermeture complète du tunnel et la déviation par le col. Afin d'améliorer les conditions de travail du personnel d'entretien et des entreprises extérieures les fermetures nocturnes sont prolongées de 2 heures par rapport à l'interdiction légale du trafic nocturne des poids lourds. Le temps de travail dans le tunnel est donc de 9 heures (20 h à 05 h). Ces restrictions à la circulation sont largement notifiées aux camionneurs en temps utile. Le solde des travaux, qui représente environ 60 CE type I, est réparti sur toute l'année et réalisé sous trafic, en général entre 22 h 00 et 05 h 00.

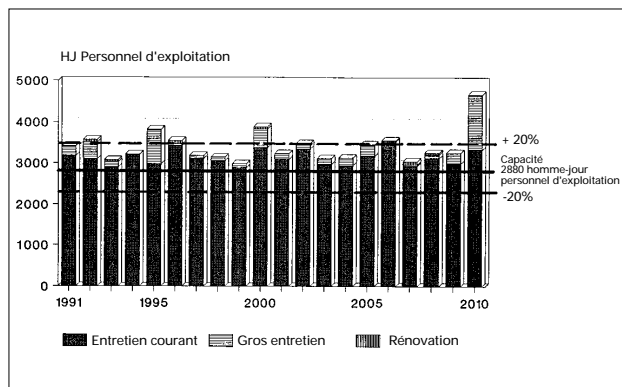


Figure B.11 : Les travaux d'entretien dans la galerie routière sont réalisés sur 3 à 4 semaines de fermeture nocturne du tunnel et sur 60 nuits en chantiers isolés sous trafic

Le personnel des services d'exploitation des ateliers d'Airolo et de Göschenen sont essentiellement chargés des tâches de l'entretien courant. La capacité de travail disponible pour les travaux dans le tunnel se situe aux alentours de 2880 hommes/jour par an, à peine inférieure de 10% à l'estimation des ressources humaines nécessaires à l'entretien courant (fig. B.12). La sollicitation du personnel d'exploitation varie sensiblement selon les domaines d'intervention (fig. B.13) ; il est possible d'y remédier partiellement par une répartition différente des charges sur les diverses catégories du personnel.

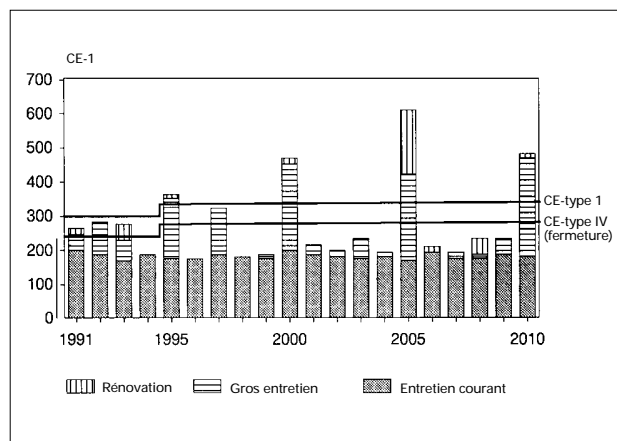


Figure B.12 : Personnel de service d'entretien renforcé par du personnel extérieur

Le personnel des services d'exploitation doit être renforcé judicieusement par des apports extérieurs (augmentation temporaire de la capacité de travail, contrat pour l'entretien de systèmes spéciaux, exécution de certains travaux importants d'entretien et de rénovation par des entreprises extérieures). L'augmentation temporaire de la capacité de travail par du personnel extérieur est surtout efficace pendant les fermetures totales du tunnel parce qu'il n'est pas nécessaire d'instruire ce personnel sur les mesures de sécurité.

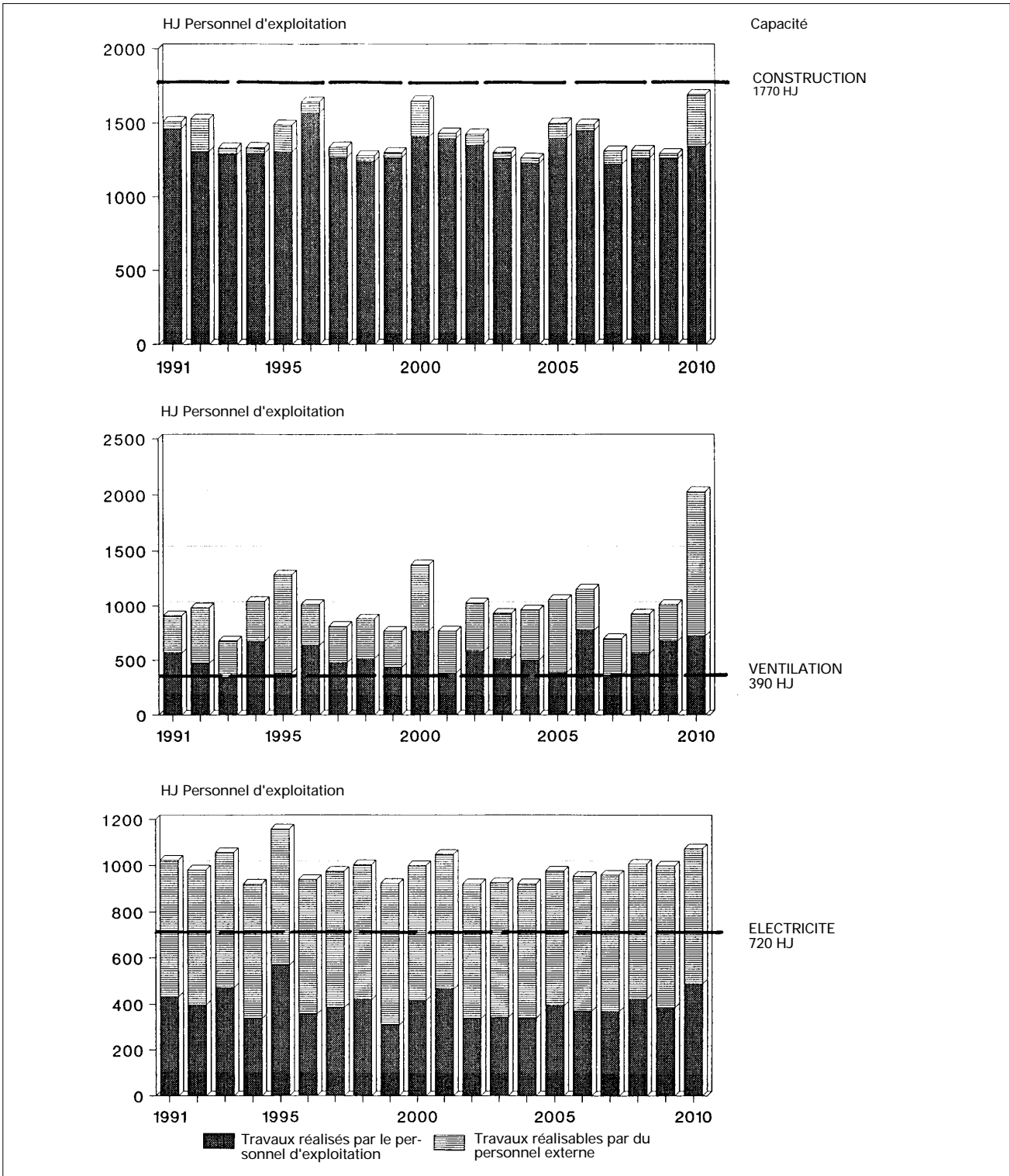


Figure B.13: Besoins et capacité du service d'exploitation par secteur spécialisé (homme/jour)

L'investissement nécessaire à la maintenance du tunnel est d'environ 250 millions de francs pour les 20 prochaines années (fig. B.14) ce qui correspond annuellement à 2% du coût de construction. Il faut ajouter à ce montant les frais d'exploitation, d'entretien et d'énergie de 9 millions par année à l'heure actuelle (1.5% du coût de construction).

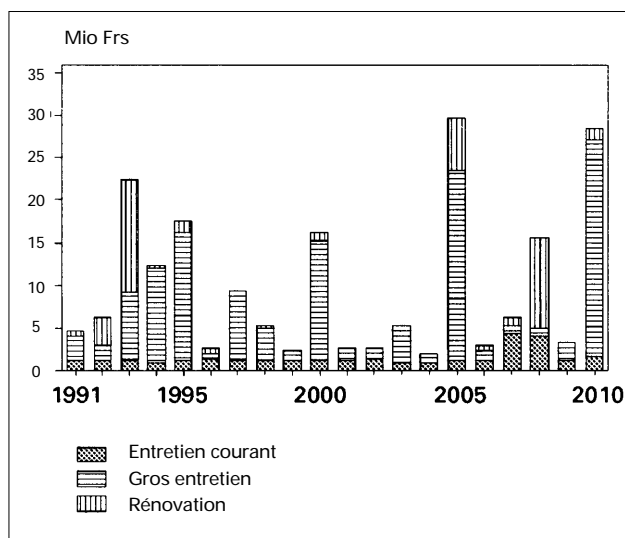
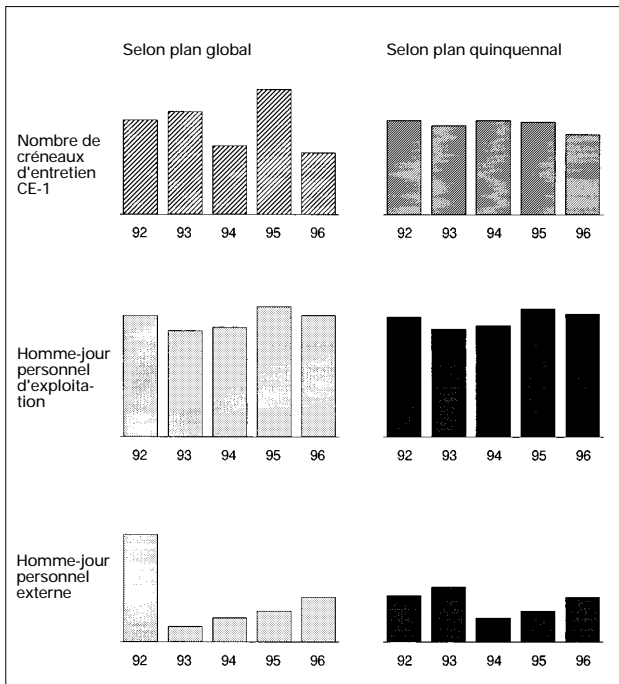


Figure B.14 : Coûts annuels des travaux de maintenance (sans les frais du personnel des services d'entretien)

B7 Plan quinquennal, programme des travaux



Le plan quinquennal permet de réduire les grandes variations qui ressortent du plan général dans l'occupation de la galerie routière, dans les charges du personnel de l'entretien et dans les coûts. Cette réduction des écarts est nécessaire à la planification du travail et des ressources humaines (fig. B.15.) et doit être adapté à la planification financière.

Le programme annuel détermine semaine par semaine les travaux, la demande en créneaux d'entretien (fig. B.16) et la répartition du personnel. La comparaison de la demande planifiée de personnel avec la capacité de travail des ateliers permet d'égaliser la charge (voir exemple fig. B.17) et de réduire le coût en limitant les prestations de tiers. Ce plan annuel sert de base aux programmes hebdomadaires de travail des services d'entretien, à l'engagement de personnel d'entreprises extérieures et à la planification de l'utilisation des machines et du matériel.

Figure B.15: Occupation annuelle de la galerie routière, journées de travail du personnel et coût selon le plan quinquennal

E. Basler & Partner Ingenieurunternehmen 8702 Zollikon		JAHRESPLAN 1991 - PERSONAL BETRIEB (Mann/Tag) PIANO ANNUALE 1991 - PERS. DI SERVIZIO - EFFETTIVO (Uomini/Giorno)																												
Code Codice	System Sistema	Bauteil Parte Costruzione	Bereich Settore	Tätigkeit Attività	Woche: 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 Settimane:																									
L0...02					.....																								
L000002				UP 202 BYPASSKLAPPEN-REINIGUNG	.....																								
L1061101	Hauptlüftung	Abluftventilatoren	Lüftungszentralen	Kontr., Reing. Abschl.klappen+Sperrn	.....																								
L0...10					.....																								
L0000010				UP 210 NABENREVISION ZULUFTVENTILATOREN	.....																								
L1051101	Hauptlüftung	Zuluftventilatoren	Lüftungszentralen	Kontr., Reing. Abschl.klappen+Sperrn	.....																								
L1051701	Hauptlüftung	Zuluftventilatoren	Bäzberg	Nabenrevision Gebläse Z3	. 15 15																									
L1051703	Hauptlüftung	Zuluftventilatoren	Bäzberg	Nabenrevision Gebläse Z4	. . . . . 15 15																									
L1052101	Hauptlüftung	Zuluftventilatoren	Airolo	Nabenrevision Gebläse Z10	.....																								
L0...30					.....																								
L0000030				UP 230 NABENREVISION ABLUFTVENTILATOREN	.....																								
L1061701	Hauptlüftung	Abluftventilatoren	Bäzberg	Nabenrevision Gebläse Y3	. . . . . 15 15																									
L1061703	Hauptlüftung	Abluftventilatoren	Bäzberg	Nabenrevision Gebläse Y4	. . . . . 15 15																									
L1062001	Hauptlüftung	Abluftventilatoren	Motto di Dentro	Nabenrevision Gebläse Y9	.....																								
L1062101	Hauptlüftung	Abluftventilatoren	Airolo	Nabenrevision Gebläse Y10	.....																								
L1061601	Hauptlüftung	Abluftventilatoren	Göschenen	Nabenrevision Gebläse Y1	.....																								

Figure B.16: Plan annuel (extrait): tâches hebdomadaires du service d'exploitation en homme/jour

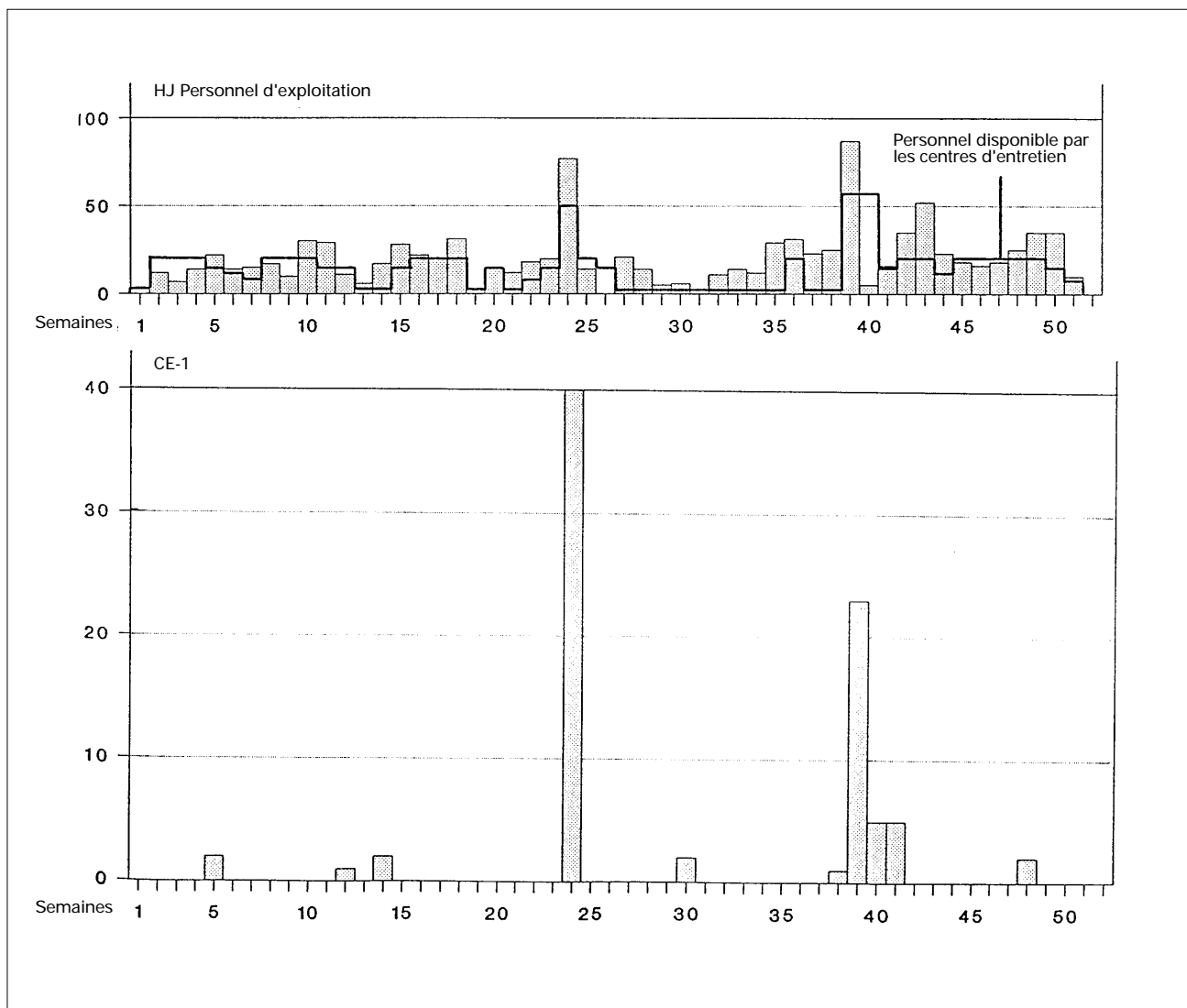


Figure B.17: Plan annuel, sollicitation du personnel d'exploitation et créneau d'entretien, secteur « Elektro »

B8 Projet de maintenance

Les travaux de maintenance du gros entretien et des travaux de rénovation se traduisent dans un projet de maintenance. Les différentes étapes en sont : cahier des charges, étude de variantes ou phase de conception, avant-projet, projet et exécution. Après chaque étape, la suite des opérations est déterminée. On donnera la préférence à des travaux simples, demandant peu d'entretien et qui sont financièrement intéressants. Exemples de projets d'entretien : remplacement du groupe de secours, réparation des ventilateurs, remise en état de la conduite de défense incendie, remplacement des détecteurs de niches, extension de la signalisation pour la déviation par le col, évacuation des eaux du tunnel dans le respect de l'environnement.

B9 Expériences et situation actuelle

Depuis trois ans la planification et le projet de maintenance suivent le concept G2000. Cette planification globale apporte aux acteurs une vue d'ensemble et aux autorités compétentes les éléments d'appréciation, mais aussi la certitude d'avoir tout entrepris pour éviter une fermeture d'urgence du tunnel imputable à un entretien déficient.

L'exemple de planification de la maintenance du tunnel routier du Gothard présenté ici provient d'un mandat de projet donné par la commission d'exploitation du tunnel. La planification de la maintenance (voir chap. 4) est le résultat d'une collaboration étroite des services des ponts et chaussées des cantons d'Uri et du Tessin.

Nous remercions les directions de l'exploitation des centres d'entretien (Centro di Manutenzione Airolo N2 et Werkhof N2 Göschenen) ainsi que leurs collaborateurs de leur précieuse contribution.

Annexe C

Définition des termes de la maintenance de l'ouvrage

C1	Maintenance des ouvrages de génie civil (extrait de la recommandation SIA 169, 1987 [1])	85
C2	Maintenance des routes nationales (extrait des directives de l'OFR [2])	88
C3	Plan de sécurité et plan d'utilisation (extrait de la norme SIA 160, 1989 [11])	90

C1 Maintenance des ouvrages de génie civil

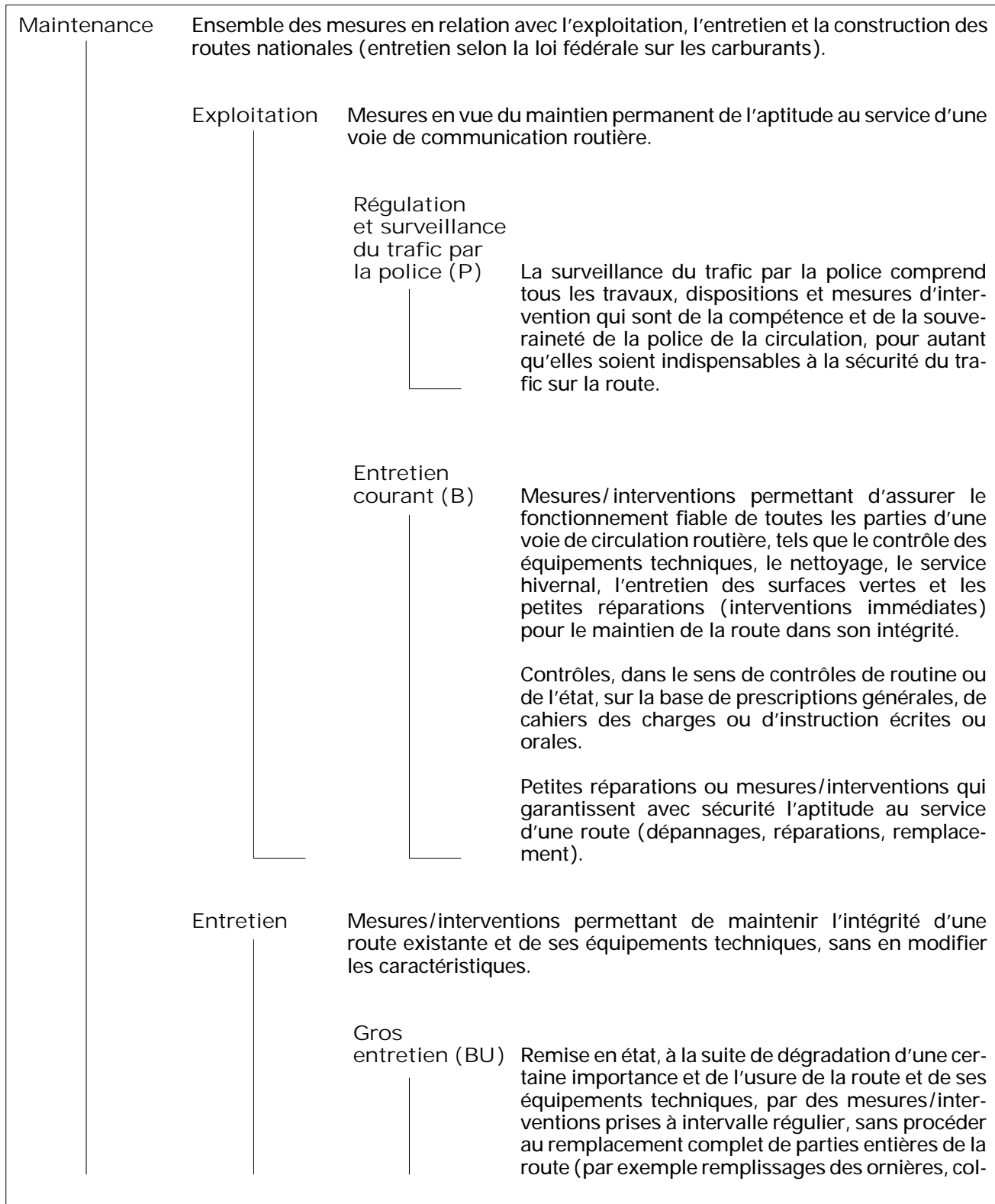
(Extrait de la recommandation SIA 169, 1987 [1])

<p>Maintenance :</p>	<p>Ensemble des mesures permettant de constater, d'apprécier et de conserver l'état d'un ouvrage Maintenance = surveillance + entretien + renouvellement</p>
<p>Surveillance :</p>	<p>Constataion et appréciation de l'état de l'ouvrage, détermination des conséquences sur l'entretien et le renouvellement</p>
<p>Surveillance continue :</p>	<p>Constataion de l'aptitude au service de l'ouvrage au moyen de contrôles fréquents ou continus</p>
<p>Surveillance périodique :</p>	<p>Constataion et appréciation de l'état et de l'aptitude au service de l'ouvrage au moyen d'inspections ponctuelles, à intervalles définis</p> <p>Inspections principales</p> <p>Les inspections principales consistent à contrôler un ouvrage de façon systématique, à intervalles réguliers, afin de dresser un bilan complet de son état et de son comportement.</p> <p>La fréquence, le mode et l'ampleur des inspections principales dépendent de l'importance, de la complexité, de l'état des matériaux de construction, du comportement et du taux d'utilisation de l'ouvrage. La première inspection principale a lieu généralement avant l'expiration du délai de garantie.</p> <p>L'intervalle entre les inspections principales fixé par le programme de surveillance peut être modifié en fonction des expériences acquises. Il ne doit toutefois pas dépasser 10 ans.</p> <p>Les inspections principales des ponts-rails, des ponts-routes et des ouvrages en sites aquatiques ou alpestres ont lieu, en principe, tous les 5 ans.</p> <p>Inspections intermédiaires</p> <p>Les inspections intermédiaires doivent permettre de déceler à temps tout défaut ou dégradation pouvant conduire à des accidents ou entraîner des dégâts plus importants.</p>

			<p>Ces inspections s’intercalent entre les inspections principales, à intervalles plus courts.</p> <p>Les inspections intermédiaires ont une ampleur limitée. Les points à contrôler peuvent découler du résultat des inspections principales.</p> <p>Inspection spéciale</p> <p>Une inspection spéciale s’effectue lors de changements importants dans l’état, le comportement ou le taux d’utilisation de l’ouvrage, notamment à la suite d’événements exceptionnels.</p> <p>L’inspection spéciale a un caractère exceptionnel et nécessite, en règle générale, la participation de spécialistes et l’utilisation d’un appareillage approprié.</p> <p>Des essais de charge effectués dans le cadre d’une inspection spéciale doivent assurer une évaluation adéquate du comportement de l’ouvrage.</p>
	<p>Entretien</p>	<p>L’entretien a pour but de garantir la sécurité, l’aptitude au service et la durabilité d’un ouvrage. L’entretien comprend également toutes les mesures contribuant au maintien de la valeur de l’ouvrage.</p> <p>En règle générale, l’entretien doit être programmé.</p> <p>La nature et l’ampleur de l’entretien sont dictées par le programme d’entretien et les résultats de la surveillance.</p>	<p>Entretien courant</p> <p>L’entretien courant consiste à éliminer les dégradations mineures dues au vieillissement et à l’usure de l’ouvrage, de ses éléments et de ses équipements.</p> <p>L’entretien courant comporte par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l’enlèvement des saillies qui gênent le mouvement des appareils d’appui et des joints de dilatation ou qui provoquent de la corrosion, - le nettoyage des installations d’évacuation des eaux, - les réparations simples d’éléments en béton ou de maçonnerie,

			<ul style="list-style-type: none"> - les réparations simples des charpentes métalliques (dégradations dues à la corrosion, rivets ou boulons manquants), - les réparations simples ou localisées du revêtement de la chaussée, - l'élimination de la végétation sur les pierriers et les murs en pierre naturelle. <p>Entretien spécialisé</p> <p>L'entretien spécialisé consiste à éliminer les dégradations importantes dues au vieillissement et à l'usure de l'ouvrage.</p> <p>L'entretien spécialisé comporte par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le traitement et la reconstitution d'éléments de structures localement dégradés, - la rénovation de la protection contre la corrosion, - la remise en état ou le remplacement d'appareils d'appui et de dispositifs de dilatation, - le remplacement partiel ou complet du revêtement, de l'étanchéité et des joints, - le remplacement ou le renforcement d'ancrages en rocher ou en terrain meuble, - les mesures contre l'érosion des talus, - la stabilisation des fondations, - l'injection de fissures.
	<p>Renouvellement</p>		<p>Le renouvellement consiste à renforcer ou à remplacer tout ou partie de l'ouvrage. Il est nécessité, par exemple, par des dégâts dus à des événements exceptionnels, par une usure anormale ou par une modification de l'utilisation.</p>

C2 Maintenance des routes nationales (extrait des directives de l'OFR [2])



			<p>matages des joints des revêtements en béton de ciment, remplacement de la couche de surface, remplacement d'éléments de ponts, réparation de dégradations des dalles intermédiaires et de l'étanchéité des tunnels etc.).</p> <p>Travaux d'ingénieurs pour le relevé de l'état, les études, les avant-projets.</p> <p>Relevés de l'état, selon des prescriptions particulières, des directives, des cahiers des charges ou des instructions écrites, d'ouvrages particuliers, d'installations ou d'éléments d'ouvrage.</p>
		Renouvellement (E)	<p>Reconstruction complète de parties entières d'une route, tels que ponts, revêtements de chaussées, balisage, bornes d'appel d'urgence, etc.</p> <p>Démontage, révision et remontage de parties entières d'un équipement routier avec remplacement des pièces inutilisables.</p> <p>Adaptation de parties entières d'une route aux nouvelles connaissances techniques ou aux techniques d'exploitation récentes.</p>
	Construction	Construction d'une nouvelle route et de ses équipements ou aménagements d'une route existante ou adaptation à de nouvelles exigences, telles que nouvelles bases légales, augmentation du trafic pondéral, exigences accrues en matière de sécurité et de confort.	
		Aménagement (A)	<p>Correction d'une route existante et de ses équipements.</p> <p>Modification ou amélioration d'une route existante et de ses équipements techniques.</p> <p>Construction d'une nouvelle partie de route, dans le cadre d'une route nationale existante.</p>
		Nouvelle construction (N)	<p>Construction d'une nouvelle route et de ses équipements techniques y compris planification, établissement du projet, mise à l'enquête, acquisition de terrain, construction et décompte.</p>

C3 Plan de sécurité et plan d'utilisation (extrait de la norme SIA 160, 1989 [11])

Plan de sécurité

Les situations de risque à prendre en compte pour la structure porteuse sont réunies dans un plan de sécurité, lequel définit également les mesures permettant d'assurer la sécurité. Il sert de document de référence pour la surveillance et l'entretien.

Plan d'utilisation

Les conditions d'utilisation à prendre en compte pour la structure porteuse sont réunies dans le plan d'utilisation, lequel définit également les mesures permettant d'assurer l'aptitude au service. Il faut prévoir les mesures de surveillance et d'entretien appropriées. Il sert de document de référence pour la surveillance et l'entretien.

Annexe D

Structuration des différents domaines

D1	Constructions (selon directives OFR [2])	93
D2	Equipements électromécaniques (Selon OFR, journée technique du 2 décembre 1992)	94
D3	Activités spécifiques de la maintenance des tunnels	95
D4	Exemples de check-lists pour les relevés de l'état de conservation et les contrôles visuels	96

D1 Constructions

(Selon directives OFR [2])

Domaines

- 1 Galerie routière, niches, canaux de ventilation, gaines techniques, liaisons transversales et ouvrages avancés
- 2 Puits et galeries latérales
- 3 Bâtiments de service et de ventilation, stations de couplage et de transformation (extérieurs et en souterrain)
- 4 Ouvrages en tête de puits
- 5 Fourniture et évacuation des eaux
- 6 Alentours

15 Fosse septique

16 Clôtures

17 Consolidation du rocher et des talus, corrections

18 Plantations

19 Accès

Pour les tunnels ferroviaires, certains de ces points sont sans objet.

Objets

- 1 Revêtement en béton de la roche (anneau intérieur et extérieur)
- 2 Dalle intermédiaire et cloison
- 3 Eléments préfabriqués de revêtement et de bordure
- 4 Constructions porteuses
- 5 Constructions métalliques
- 6 Joints, étanchéité, isolation et insonorisation
- 7 Installations sans et avec revêtement de gunite ou de béton projeté
- 8 Revêtement de la chaussée
- 9 Marquage de la chaussée
- 10 Assainissement
- 11 Passage des câbles y c. chambres
- 12 Peinture, enduits et revêtements de sol
- 13 Toiture y c. couverture
- 14 Séparateur d'hydrocarbures et bassin de rétention des eaux de lavage

D2 Equipements électromécaniques (Selon OFR, journée technique du 2 décembre 1992)

- 1 Approvisionnement en énergie
 - Transformateurs
 - Eléments à haute et basse tension
 - Installations de mesure, de protection et de gestion
 - Groupes électrogènes de secours
 - 2 Eclairage
 - Armatures pour l'éclairage comprenant le câblage
 - Lampes
 - Eclairage d'incendie
 - Fixations
 - Dispositifs de mesure et de gestion
 - Système de contrôle et de commande
 - 3 Ventilation
 - Ventilateurs
 - Moteurs
 - Equipements auxiliaires
 - Organes de fermeture et de régulation
 - Installation de surveillance
 - Amortissement de bruit (silencieux)
 - Fixations
 - Commande et régulation de la ventilation
 - 4 Signalisation
 - Portiques
 - Poteaux
 - Fixations
 - Signaux lumineux
 - Signalisation d'affectation des voies
 - Signalisation fixe
 - Indicateurs de direction
 - Panneaux de signalisation
 - Signalisation à message variable
 - Mécanismes
 - Appareils de commande
 - 5 Installations de mesure et de surveillance
 - Bornes et coffrets SOS
 - Radar de détection du verglas
 - Système de détection d'incendie
 - Détecteurs de gaz polluants (CO)
 - Appareil de comptage de trafic
 - Installation de détection des chutes de pierres et d'avalanches
 - Stations météo
 - Surveillance par vidéo (à l'exception de la centrale aménagée au centre d'entretien)
 - 6 Equipements des centres d'entretien et des postes de polices (nécessités par les routes nationales)
 - Dispositifs de communication (réseaux)
 - Centrales de télécommande
 - Ordinateurs de gestion du trafic
 - Centrales d'alarme et de téléphone
 - Centrales radio (stations de liaison et de relais)
 - Centrales de surveillance
 - Installations SMT (secours)
 - Appareils périphériques
 - 7 Câbles
 - Conduits pour les câbles
 - Câbles (fixations comprises)
 - Câbles à haute et basse tension
 - Câbles de commande, de signalisation et de téléphone
 - Dispositifs de mise à terre
 - Cabines
 - Tableaux électriques
 - Armoires
 - Mâts
 - 8 Installations annexes
 - Dispositifs de chauffage, de climatisation et de ventilation des locaux
 - Installations électriques intérieures (par exemple, dans les centrales des tunnels)
 - Dispositifs de visite des puits
 - Ascenseurs
 - Grues
 - Engins de levage
 - Adduction d'eau
 - 9 Mesures de construction prises en raison de l'électromécanique
 - Caniveaux
 - Regards
 - Socles
 - Chambres de tirage
- Dans les tunnels ferroviaires, se référer aux spécifications pour les équipements électromécaniques selon les instructions du service compétent.

D3 Activités spécifiques de la maintenance des tunnels

Activités spécifiques de la surveillance des ouvrages en tunnel :

Ouvrages en rocher, béton, acier, béton armé et pré-contraint :

- Contrôles
- Parcours de contrôle
- Contrôles périodiques
- Contrôles visuels
- Révision
- Mesure
- Inspection
- Relevé
- Examen de l'état de conservation de l'ouvrage

Equipements électromécaniques

- Contrôle visuel
- Contrôle de fonctionnement
- Contrôle de niveaux
- Mesures de contrôle
- Contrôle de l'état de conservation
- Essai de marche
- Mesure du rendement

Activités spécifiques de l'entretien/de la remise en état des ouvrages en tunnel :

Ouvrages en rocher, béton, acier, béton armé et pré-contraint :

- Nettoyage, lavage
- Rinçage
- Entretien courant
- Réfection
- Réparation
- Dépose et repose
- Mesures de protection
- Etanchéité

Equipements électromécaniques

- Nettoyage
- Calibrage
- Réglage
- Lubrification
- Entretien périodique
- Réparations
- Remplacement des pièces d'usure

Tâches spécifiques de rénovation des ouvrages en tunnel :

Ouvrages en rocher, béton, acier, béton armé et pré-contraint :

- Echange
- Amélioration
- Remplacement
- Démolition et reconstruction
- Transformation
- Extension

Equipements électromécaniques

- Remplacement
- Echange
- Extension
- Amélioration du rendement
- Rénovation complète et systématique
- Complément

Dans les tunnels ferroviaires, la répartition des tâches pour les travaux de l'entretien courant des installations ferroviaires font l'objet d'une réglementation spéciale. Ces tâches d'entretien sont planifiées et exécutées en commun pour des tronçons entiers du réseau par les services compétents. Ils ne se limitent en général pas aux tronçons en tunnel.

D4 Exemples de check-lists pour les relevés de l'état de conservation et les contrôles visuels

- Check-lists pour l'inspection principale – tunnel à couverture plane (exemple DTP du Canton de Bâle-Campagne)
- Check-lists pour l'inspection principale – tunnel voûté (exemple DTP du Canton de Bâle-Campagne)
- Contrôles visuels, relevés – canaux de ventilation, puits de ventilation (exemple du tunnel routier du Gothard)
- Contrôles visuels, relevés – galerie routière (exemple du tunnel routier du Gothard)

Ausfüllen durch Kontrolleur																			
1. Kontrolle Betonanteile	Bez. gemäss Objektskizze			Beton		Arm.		Wasser		sonstiges		Bemerkungen							
	Portal.....	Portal.....	Tunnelröhre										Risse	Ablätzungen/ Frostschäden	Kiesneester	Hohlstellen	Fremdkörper	freiliegende Eisen	Korrosion
	Strirmauer																		
	Flügelmauer																		
	Brüstungen																		
	Strirmauer																		
	Flügelmauer																		
	Brüstungen																		
	Wand																		
	Wand																		
	Wand																		
	Stützen																		
	Decke																		
	Unterzüge																		
	Bankett																		
	Bankett																		
	Bankett																		
	Bankett																		

Ausfüllen durch Kontrolleur														

TUNNEL MIT FLACHDECKE
Gemeinde: Objektkategorie:
Strasse: Objektname:
Kontrolleur: Röhre:
Checkliste für
H Hauptinspektion
Obj. Nr.:
Datum:
3.4a
Amt/ Kreis/ Strasse/ Obj. Art

TUNNEL MIT FLACHDECKE		H	Obj.Nr.:																																																												
Objektnamen:																																																															
Ausfüllen durch Kontrolleur																																																															
2. Kontrolle visuell div. Bauteile	Schachdeckungen, Roste Entwässerung Exzentrische Entwässerung Einmündungsbauwerke Entwässerungsröhren	Risse Abplatzungen Unebenheiten Fugen/Verguss Rostschutz + Korrosion Befestigungen Verankerungen Beschädigungen undicht + verstopft sonstiges	Bemerkungen 																																																												
Ausfüllen durch Kontrolleur																																																															
restl. Einrichtungen Weiteöffnungen	Sicherheits-einrichtungen Signalelektren Ampeln Türen, Schieberfenster Stahlbeton/Verkleidung keine Instandhaltung Kabelkanäle Weiteöffnungen	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 25%;"> </td><td style="width: 25%;"> </td><td style="width: 25%;"> </td><td style="width: 25%;"> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>																																																													Terrain über Tunnel Beleuchtung Signalisation Ampeln Türen, Schieberfenster
Ausfüllen durch Kontrolleur																																																															
Ausfüllen durch Kontrolleur																																																															
Fahrbahn Entwässerung Randschulden Fahrbahn Aufschichtung	Fahrbahn Entwässerung Randschulden Fahrbahn Aufschichtung																																																														
Ausfüllen durch Kontrolleur																																																															
Ausfüllen durch Kontrolleur																																																															
Schaden Nr.:	Bemerkungen:																																																														

Schaden Nr.:	Bemerkungen:																										
Ausfüllen durch Verantwortliche																											
6. Gesamtbeurteilung durch Verantwortlichen <input type="checkbox"/> Zustand akzeptabel <input type="checkbox"/> Zustand nicht akzeptabel <input type="checkbox"/> keine Massnahmen <input type="checkbox"/> Ursache bekannt → Massnahmen <input type="checkbox"/> kleine Massnahmen <input type="checkbox"/> Ursache nicht bekannt → Zusatzinspektion <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 3 Datum:, Unterschrift:																											
7. Massnahmen durch TBA Massnahmen: angeordnet am:, Unterschrift:																											
Ausfüllen durch Kontrolleur																											
3. Kontrolle visuell Fahrbahn Sind bei der Inspektion der Belagsoberfläche besondere Feststellungen gemacht worden (Rückschlüsse auf darunterliegende Bauteile)? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenn ja: welche? wo?																											
4. Kontrolle Abdichtung Weisen irgendwelche Merkmale auf Undichtigkeit der Abdichtung hin? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenn ja: welche? wo? Vermutliche Ursache:																											
Der Unterzeichnete bestätigt, alle Kontrollen lückenlos vorgenommen zu haben, sowie die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben. Datum:, Unterschrift:																											
5. Kontroll-Messungen Nivellament		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Peri. Kontrolle</th> <th style="width: 25%;">Letzte Kont. Datum</th> <th style="width: 25%;">Veränderungen</th> <th style="width: 25%;">Beilage Nr.</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ja Nein</td> <td style="text-align: center;">Ja Nein</td> <td style="text-align: center;">Ja Nein</td> <td style="text-align: center;">Ja Nein</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>		Peri. Kontrolle	Letzte Kont. Datum	Veränderungen	Beilage Nr.	Ja Nein	Ja Nein	Ja Nein	Ja Nein																
Peri. Kontrolle	Letzte Kont. Datum	Veränderungen	Beilage Nr.																								
Ja Nein	Ja Nein	Ja Nein	Ja Nein																								

TUNNEL MIT GEWÖLBE		H	Obj.Nr.:																																				
Objektname:																																							
2. Kontrolle visuell div. Bauteile		Bemerkungen																																					
Schadhaftungen, Risse	<input type="checkbox"/>	Risse																																					
Einlaufschleife	<input type="checkbox"/>	Abplatzungen																																					
Wasserrinne	<input type="checkbox"/>	Unebenheiten																																					
Fahrdammwässerung	<input type="checkbox"/>	Fugen/Verguss																																					
Entwässerungseleitungen	<input type="checkbox"/>	Rostschutz + Korrosion																																					
Fahrbahn	<input type="checkbox"/>	Befestigungen Verankerungen																																					
Belag im Tunnel	<input type="checkbox"/>	Beschädigungen																																					
Radschleiss	<input type="checkbox"/>	undicht + verstopft																																					
Bemerkung	<input type="checkbox"/>	sonstiges																																					
Sicherheits-einrichtungen	<input type="checkbox"/>	Bemerkungen																																					
Speziallampe, Ampeln	<input type="checkbox"/>																																						
Türe, Schloßerarbeiten	<input type="checkbox"/>																																						
Schuttmittel/Verklebung (Kleber, Klebstoffe)	<input type="checkbox"/>																																						
Kabelkanäle	<input type="checkbox"/>																																						
Verklebungen	<input type="checkbox"/>																																						
restl. Einrichtungen	<input type="checkbox"/>																																						
Schaden Nr.																																							
Bemerkungen:																																							
Ausfüllen durch Kontrolleur																																							
<p>3. Kontrolle Trennwände Material</p> <p>Bez. gemäss Objektskizze</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Risse</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Abplatzungen/Beschädigungen</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Ausblähungen</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>feuchte, nasse Stellen</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Deformation</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Bruch/Beschädigung</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Befestigung</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Dichtungsprofile</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Trennwand</td><td><input type="checkbox"/></td><td>sonstiges</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>		Trennwand	<input type="checkbox"/>	Risse	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	Abplatzungen/Beschädigungen	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	Ausblähungen	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	feuchte, nasse Stellen	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	Deformation	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	Bruch/Beschädigung	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	Befestigung	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	Dichtungsprofile	<input type="checkbox"/>	Trennwand	<input type="checkbox"/>	sonstiges	<input type="checkbox"/>	Bemerkungen	
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Risse	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Abplatzungen/Beschädigungen	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Ausblähungen	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	feuchte, nasse Stellen	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Deformation	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Bruch/Beschädigung	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Befestigung	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	Dichtungsprofile	<input type="checkbox"/>																																				
Trennwand	<input type="checkbox"/>	sonstiges	<input type="checkbox"/>																																				
<p>4. Kontrolle visuell Fahrbahn</p> <p>Wenn ja: welche? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p> <p>wo? <input type="checkbox"/></p> <p>Sind bei der Inspektion der Belagsoberfläche besondere Feststellungen gemacht worden (Radschleisse auf darunterliegende Bauteile)? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p>		Bemerkungen																																					
<p>5. Kontrolle Abdichtung</p> <p>Wenn ja: welche? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p> <p>wo? <input type="checkbox"/></p> <p>vermutliche Ursache: <input type="checkbox"/></p> <p>Weisen irgendwelche Merkmale auf Undichtigkeit der Abdichtung hin? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein</p>		Bemerkungen																																					
<p>Der Unterzeichnete bestätigt, alle Kontrollen lückenlos vorgenommen zu haben, sowie die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.</p> <p>Datum: <input type="text"/></p> <p>Unterschrift: <input type="text"/></p>		Bemerkungen																																					
Ausfüllen durch Verantwortliche																																							
<p>6. Kontroll-Messungen</p> <p>Nivellament <input type="checkbox"/></p>		Peri. Kontrolle	Letzte Kontr. Datum	Veränderungen	Beilage Nr.																																		
<p>Verformungen, von Druckringen</p> <p>Messung von Feisdrücken <input type="checkbox"/></p>		Ja	Nein	Ja	Nein																																		
<p>7. Gesamtbeurteilung durch Verantwortlichen</p> <p>Zustand akzeptabel <input type="checkbox"/> Zustand nicht akzeptabel <input type="checkbox"/></p> <p>keine Massnahmen <input type="checkbox"/> Ursache bekannt <input type="checkbox"/> → Massnahmen <input type="checkbox"/> 3</p> <p>kleine Massnahmen <input type="checkbox"/> 2 Ursache nicht bekannt <input type="checkbox"/> → Zusatzinspektion <input type="checkbox"/> 4</p> <p>Unterschrift: <input type="text"/></p>		<p>Datum: <input type="text"/></p>																																					
<p>8. Massnahmen durch TBA</p> <p>Massnahmen: <input type="text"/></p> <p>angeordnet am: <input type="text"/></p> <p>Unterschrift: <input type="text"/></p>																																							

Gotthard-Strassentunnel
 Betriebsleitung
 Unterhaltsplanung G2000

Sichtkontrollen
 Zustandsaufnahmen
 Lüftungskanäle, Lüftungsschächte

Seite:
 Datum:
 Teilnehmer:

Ort	Kalotte	Ringfugenabdeckung (vor Element-Nr.)	Zwischenwand	Längsfugen- band	Zwischendecke	Querfugen- band	Abfüßler	Stahlblechteile
	Zuluft/Abluft							
	Element-Nr.							
	Zustand i.o.							
	Ablagerungen							
	Risse							
	Verformungen							
	Abplatzungen							
	Wasseraustritt							
	Zustand i.O.							
	Riss entlang Fuge							
	Riss in Abdeckung							
	Abplatzung							
	Wasseraustritt							
	Zustand i.O.							
	Ablagerungen							
	Risse, Verformungen							
	Abplatzungen							
	Korrosion							
	wasserführend							
	elastisch							
	gerissen							
	Rand losgelöst							
	keine Schäden							
	Randabstand							
	Ablagerungen							
	Risse, Verformung							
	Abplatzung							
	Korrosion							
	elastisch							
	gerissen							
	Rand losgelöst							
	Zustand i.O.							
	schadhafte Befestigung							
	Blattrost							
	Zustand i.O.							
	schadhafte Befestigung							
	Blattrost							
	Verschluss defekt							
	undicht							

Références

- [1] Recommandation SIA 169, Edition 1987
Maintenance des ouvrages de génie civil
SN Norme Suisse Construction 588169
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 1987
(actuellement refonte en préparation)
- [2] Directives pour l'entretien des tunnels routiers
Prestations avec leurs classifications
Routes nationales
Office fédéral des routes OFR, 1986
- [3] Norme SIA 198, Edition 1993
SN Norme suisse Construction 561198
Travaux souterrains
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 1993
- [4] Hauptbegriffe der Bauwerkserhaltung
Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 45,
5. Nov. 1992
- [5] Office fédéral des questions conjoncturelles
Techniques d'auscultation des
ouvrages de génie civil
PI-BAT N° de commande 724.453 f, 1991
- [6] Office fédéral des questions conjoncturelles
Le diagnostic des ouvrages de génie
civil
PI-BAT N° de commande 724.456 f, 1993
- [7] SN Schweizer Norm 113001
Anlagen-Instandhaltung
Schweizerische Normenvereinigung, Juli
1980
- [8] Schweizerische Bundesbahnen
Tunnelüberwachung, Pflichtenheft zur
Hauptinspektion
Hauptabteilung Bau Kreis II, Ingenieurbau,
Mai 1991
- [9] Schweizerische Bundesbahnen
Tunnelüberwachung, Pflichtenheft zur
Grundlagenerarbeitung
Hauptabteilung Bau Kreis II, Ingenieurbau,
Dezember 1990
- [10] Office des constructions fédérales
Durée d'amortissement
Septembre 1985
- [11] Norme SIA 160, Edition 1989
Action sur les structures porteuses
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 1989
- [12] EN – 29000
Normes pour la gestion de la qualité et
l'assurance de la qualité
SN 01.07.1990

Bibliographie

Normes, directives

Zustandsuntersuchungen
SIA Dokumentation 98, 1985
Korrosion von Stählen im Bauwesen
Ursachen und Schutzmassnahmen

Korrosion und Korrosionsschutz
Zerstörungsfreie Prüfung an
Stahlbetonbauwerken
SIA Dokumentation D020, 1988

Planification, projet

Sanierung Tasna-Tunnel
Amberg Ingenieurbüro AG, Rheinstrasse 4,
7320 Sargans, 1985

Sanierung von Bahntunneln,
STUVA-Tagung, Hannover, 17. Nov. 1985
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Denkanstösse für Sanierungsarbeiten im
Tunnelbau
VDI-Nachrichten, 20. Dez. 1985
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig
Interview STUVA-Tagung

Bahntunnelsanierung: Weiter Markt für neue
Techniken
Schweizer Ingenieur und Architekt Nr.45, 1986
Firtz Hirt, Alfred Merk, Pierre Jolissaint

Management bei Tunnelsanierungen
Tagungsband SIA/FMB-Tagung Luzern,
14. Mai 1987
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Management bei Tunnelsanierungen
Zeitschrift «Tiefbau/Ing.bau/Strassenbau» Nr.1,
Nov. 87 (Bertelsmann Verlag)
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Management Questions in Tunnel
Reconstruction
IVBH-Kongress Helsinki Tagungsband,
6.-10. Juni 1988
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Exécution

Bauprobeme der Rekonstruktion des Hauenstein-
Basistunnels
Schriftenreihe des Inst. für Baubetrieb und
Bauwirtschaft
Heft 7, Festschrift 15 Jahre Institut für B. und B.TU
Graz, 1984
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Die Sanierung des Hauenstein-Basistunnels
Schweizer Eisenbahn-Revue, Mai 1985
Alfred Etterlin, dipl. Ing. ETH

Sanierungsarbeiten im Zimmerberg- und
Albistunnel
Schweizer Baublatt Nr. 74, 13. Sept. 1985
Reportage Comet-Foto

Injektionen für Sanierung, Unterhalt und
Abdichtung von Betonbauwerken
Schweizer Baublatt Nr. 93, 19. Nov. 1985
W. Lauper, Elpol AG, Jegenstorf BE

BLS Doppelspurausbau schreitet voran
Schweizer Baublatt Nr. 94, 22. Nov. 1985
F. Lörtscher, Daniel Quinche

Sanierung von Bahntunneln
Zeitschrift «Tunnel», Januar 1986
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Besondere Aspekte bei der Durchführung von
Sanierungen
Tagungsband Symposium «Sanierung von
Tunnelbauwerken», Sonderausgabe der Zeitschrift
«Tunnel», 12./13. März 1987
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Ausführungsaspekte bei Tunnelsanierungen
Schweizer Ingenieur und Architekt Nr.25, 18.Juni
1986
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Besondere Aspekte bei der Durchführung von
Tunnelsanierungen
Schweizer Baublatt Nr. 64, 14. August 1987
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Rekonstruktion des Hauenstein-Basistunnels
Festschrift Prof. K. Simons, Braunschweig, BRD;
«Wissen transferieren», 1987
Prof. Dr.-Ing. E.h.R. Fechtig

Bauwerksanierung; Riss-Injektionstechnik
Fachbeilage zum Schweizer Baublatt,
11. Sept. 1990
H.U. Reber

Associations de soutien

Sia

Société suisse
des ingénieurs et des architectes

ASIC

Association suisse
des ingénieurs-conseils



Union des professionnels
de la route

SLG

Association suisse
de l'éclairage