

7. LE COUT DE L'ENTRETIEN

7.1 Généralités

Les tunnels sont normalement livrés avec un équipement cher et techniquement avancé qui, pour l'exploitation et l'entretien, demande un haut degré de compétence et des ressources considérables. La planification professionnelle et structurée des activités d'exploitation et d'entretien est indispensable si l'on doit répondre aux demandes suivantes :

- la sécurité des usagers de la route,
- l'assurance d'une circulation fluide,
- l'économie de l'exploitation.

Si des crédits suffisants ne sont pas disponibles pour l'entretien, les niveaux du service et de la sécurité vont en pâtir.

7.1.1 Objectifs de l'entretien

Le but global de l'entretien opérationnel est de maintenir un niveau spécifié de sécurité, avec un niveau optimal de dépenses et sans effet négatif sur l'environnement.

Cela veut dire que l'entretien doit être planifié et exécuté de telle manière que les hypothèses de fonctionnement faites en phase de conception restent valables sur toute la durée de fonctionnement. De la même façon, il faut faire attention aux hypothèses techniques sur lesquelles on a fondé des décisions pour la planification et la construction du tunnel.

On peut atteindre des objectifs en :

- maintenant les fonctions planifiées qui ont été incorporées au tunnel,
- maintenant les exigences fonctionnelles, ou en les modifiant pour répondre aux exigences actuelles,
- maintenant la sécurité fonctionnelle, ou en la modifiant pour répondre aux exigences actuelles,
- s'assurant que l'équipement de sécurité répond aux exigences, à tout moment,
- s'assurant que les procédures de sécurité répondent aux exigences, à tout moment,
- visant une norme uniforme pour des installations similaires, surtout des tunnels sur le même tronçon routier, avec des débits similaires.

À la suite de ces objectifs, il faudra documenter les exigences concernant le fonctionnement de chaque installation, et sur la façon dont ces fonctions seront maintenues en cas d'interruptions ou d'irrégularités de fonctionnement.

7.2 Coût de l'entretien

L'exploitation et l'entretien comprennent toutes les activités indispensables pour qu'un tunnel réponde à l'ensemble des exigences fonctionnelles sur toute sa durée de vie. Suivant le pays, les définitions de l'entretien et de l'exploitation sont différentes.

La définition retenue par le groupe de travail pour ce rapport est que l'entretien comprenne :

- le lavage et le nettoyage,
- la surveillance fonctionnelle et l'entretien de l'équipement technique,
- le renouvellement et la réparation de composants structurels, revêtement routier, peinture d'équipement technique,
- les activités d'urgence comme le retrait d'objets tombés sur la route, la fixation des composants qui ont pris du jeu, l'ajustement du positionnement incorrect de l'équipement technique, l'enlèvement de la glace, etc.

7.2.1 Autres facteurs ayant un impact sur les coûts d'entretien

En plus des éléments structurels et de l'équipement technique installés, les facteurs suivants ont une influence sur le coût de l'entretien :

- le niveau d'entretien,
- l'organisation,
- le degré auquel on fait appel à des entreprises spécialisées,
- la quantité d'équipement technique,
- le choix de solutions techniques,
- les exigences relatives à l'environnement et les conditions de travail,
- le système et la méthode de gestion,
- le site du tunnel,
- le fonctionnement du tunnel (uni- ou bi-directionnel),
- la législation du pays,
- les types de contrat,
- la facilité d'accès à l'équipement,
- la facilité de fermeture du tunnel pour l'entretien.

7.2.2 Systèmes demandant un entretien avec un niveau d'impact sur les coûts de l'entretien

Le tableau ci-dessous indique jusqu'à quel point les différents éléments techniques de coût influencent les coûts totaux de l'entretien :

Système d'équipement technique	Influence
Bloc d'alimentation d'entrée	faible
Distribution interne d'énergie	faible
Génération d'énergie de réserve	moyenne
Systèmes d'alimentation électrique ininterrompue	moyenne
Eclairage	haute
Ventilation	faible
Ecoulement des eaux	moyenne
Lutte anti-incendie	moyenne
Communications	moyenne
Gestion de la circulation	faible
Surveillance de la circulation	faible
Services de bâtiment	faible
Surveillance d'installation et équipement de commande	moyenne

7.3 Systèmes techniques influençant les coûts d'entretien système par système

7.3.1 Éclairage

Aspect de l'éclairage	Influence
Nombre de luminaires	haute
Remplacement des lampes	moyenne
Facilité d'accès	moyenne
Facilité de démontage et de remplacement	moyenne
Nettoyage du tunnel	faible
Durée des fermetures	faible

7.3.2 Ventilation

Aspect de la ventilation	Influence
Nombre de ventilateurs	moyenne
Méthode employée (longitudinale, complètement transversale ou semi-transversale)	moyenne
Facilité d'accès	faible
Facilité de démontage et de remplacement	faible
Durée des fermetures (si nécessaire)	faible

7.3.3 Services dans les bâtiments

Aspect des services dans les bâtiments	Influence
Bâtiments gardés ou non	moyenne
Nombre, dimension et emplacement des bâtiments	haute

7.4 Exigences de conception

Le rapport AIPCR «Classification des Tunnels» (1995) contient l'énoncé suivant : «Il existe un intérêt croissant pour l'utilisation de systèmes de classification afin d'établir des règles cohérentes, sûres et économiques pour l'équipement, l'exploitation, l'entretien et la rénovation des tunnels routiers ».

Les tunnels ont été classés (voir chapitre 4) suivant :

- leur longueur,
- leur débit.

D'autres facteurs doivent être pris en compte, comme :

- la circulation uni- ou bidirectionnelle,
- la localisation en zone urbaine ou rurale,
- implantation au-dessus ou en dessous du niveau de l'eau,
- niveau de service (catégorie de route).

Les facteurs ci-dessus, ainsi que la réserve d'espace disponible dans le tunnel, soit :

- la bande d'arrêt d'urgence,
- les garages,
- l'espace de retournement,
- la barrière de sécurité,
- la chaussée sur la bande d'arrêt d'urgence,

et la géométrie,

- la déclivité,
- la courbure du tunnel,
- l'entrée et la sortie du tunnel,

sont à la base du choix des équipements techniques, qui peuvent comporter :

L'équipement de surveillance et d'alarme :

- SCADA
- télévision en circuit fermé
- SDI (Système de détection d'incident)
- des téléphones d'urgence
- des sirènes d'incendie
- des détecteurs automatiques d'incendie
- des instruments de mesure de la visibilité
- des instruments de mesure des concentrations de gaz
- des capteurs pour les portes, les sonneries d'alarme, les extincteurs
- des dispositifs de détection du gabarit des véhicules

Les itinéraires de sorties de secours et les communications de secours :

- les portes de secours
- les transmissions par radio
- l'équipement de communication
- les hauts-parleurs
- les panneaux d'itinéraires de sortie de secours
- les itinéraires de sortie de secours sans fumée
- l'éclairage de secours
- les panneaux à message variable

Le matériel de lutte contre l'incendie et anti-pollution :

- des extincteurs manuels
- des bouches d'incendie
- un réservoir d'eau
- une bobine de tuyau d'incendie et sa provision d'eau
- un extincteur automatique (si on l'utilise)
- un système fermé d'évacuation des eaux
- des pompes à l'épreuve des explosions
- un filtre à air (si on l'utilise)
- des plans pour les secours et les incidents
- des autopompes (si l'on en possède)

D'autres exigences et équipements :

- la sécurité fonctionnelle (sécurité contre les défaillances)
- l'alimentation électrique ininterrompue (AEI)
- l'éclairage du tunnel
- la ventilation réversible
- des panneaux préfabriqués (surface et résistance)
- une protection anti-incendie
- des installations de régulation de la circulation
- l'avertissement concernant les files d'attente
- les équipements d'accès.

Parmi les aspects de l'entretien qui ont une incidence sur le coût, on trouve :

- les équipements installés ne doivent pas être spécialisés au point qu'il ne serait pas pratique de changer l'entreprise chargée de l'entretien,
- les équipements devraient être choisis de manière à minimiser le nombre d'entreprises spécialisées,
- la rapidité et la facilité d'accès aux équipements pour les besoins de l'entretien,
- l'emplacement extérieur des équipements, par exemple en les disposant dans une galerie de service hors de la zone circulée, ou bien la mesure à distance de l'élément de chauffage et la commande des feux, au lieu d'avoir des besoins d'entretien augmentés si l'on installe des équipements de contrôle dans chaque unité.

De nombreux facteurs, décidés à sa phase de conception et de planification, auront une influence sur le futur entretien du tunnel. Les normes et solutions choisies modifieront invariablement les procédures d'exploitation et les besoins d'entretien à l'avenir. En établissant le cahier des charges du tunnel, il faut comprendre quels sont les éléments qui auront des conséquences sur l'exploitation et l'entretien.

À la phase de conception, il faudrait avoir préparé un plan de sécurité. En association avec l'analyse des risques, il faudrait avoir analysé les équipements de sécurité, les itinéraires de sortie de secours, les itinéraires de sauvetage, les possibilités d'intervention et le temps de présence des services d'urgence et du personnel. Les niveaux globaux de sécurité seront documentés et acceptables.

Le plan de sécurité, à actualiser régulièrement sur toute la durée de vie du tunnel, est d'une importance clef pour les décisions concernant les dépenses d'entretien et d'exploitation.

Les nouvelles technologies peuvent permettre de faire des économies, mais elles créent également de nouvelles demandes dans l'exploitation du tunnel. Par exemple, l'emploi de téléphones portables embarqués par les usagers de la route (qui contactent le mauvais service) au lieu de l'utilisation du système de téléphones d'urgence du tunnel pourrait aboutir à la non-détection d'accidents dans le tunnel avec un risque d'accidents supplémentaires dus au manque de mesures préventives (avertissements, limites de vitesse, fermeture de voie de circulation, etc.). Cela peut alors créer un besoin supplémentaire de détection automatique d'incident.

L'installation de détecteurs automatiques d'incidents peut alors rendre possible la réduction du nombre de téléphones d'urgence, de détecteurs d'incendie, de gaz et de fumée.

Grâce à des boucles d'induction noyées dans le revêtement routier, il est possible de détecter des véhicules lents ou à l'arrêt. Si, au lieu de cela, l'on utilisait l'analyse de l'image par l'intermédiaire de la télévision en circuit fermé, on pourrait réaliser une économie supplémentaire en travaux d'entretien.

7.5 Considérations sur la durée de vie

Les divers composants d'un tunnel ont des durées de vie très différentes. La structure elle-même a une espérance de vie de plus de 100 ans. Les solutions techniques qui aboutissent à des petites mais régulières augmentations annuelles des coûts d'exploitation et d'entretien créeront finalement un coût supplémentaire considérable.

La plupart des équipements techniques ont une durée de vie plus courte, souvent entre 10 et 20 ans. Les équipements de surveillance et équipements électroniques ont une durée de vie économique de 5 à 10 ans. Il est important de prendre en compte les investissements initiaux, les futurs coûts d'exploitation et d'entretien, de même que les coûts de réinvestissement au moment de la phase de conception où sont évaluées d'autres solutions. (Voir annexe 3 pour les tableaux d'espérance de vie fondée sur les expériences norvégienne et britannique).

Pour obtenir une meilleure évaluation des coûts sur toute la durée de vie, il est important que les personnes chargées de l'exploitation et de l'entretien des tunnels fassent partager leur expérience aux phases de conception et de planification et participent pleinement au choix des systèmes.

Il y a quelques années, dans le milieu de l'industrie de transformation, on a déclaré que les personnes qui ne connaissaient pas l'entretien ou ne s'y intéressaient pas étaient responsables de 80 % des coûts d'entretien. On ne devrait pas tolérer cette situation pour les tunnels routiers.

Il est possible de faire des économies considérables en faisant un usage complet de l'expérience disponible en entretien - plusieurs administrations routières nationales le font de plus en plus.

Bien que l'on essaie de choisir les meilleures solutions de coût/ techniques, certaines situations peuvent se produire au cours de la durée de vie d'un tunnel qui conduisent à une augmentation des coûts d'entretien. Par exemple, dans les tunnels anciens, où il y avait jadis peu de circulation, les travaux d'entretien pourraient se faire dans la journée. C'est une hausse constante de la circulation qui a obligé d'effectuer ce travail la nuit.

L'augmentation de la circulation peut également créer un besoin de modernisation et, par là, de plus d'équipements techniques, et donc une augmentation des coûts d'entretien. Aux Pays-Bas, la modernisation a été nécessaire du fait que la police avait émis des autorisations pour le transport des marchandises dangereuses.

Les exigences environnementales de plus en plus strictes, pour lesquelles la législation nationale est l'élément maître, concernent principalement les restrictions sur la poussière, les gaz toxiques, le bruit et les eaux de décharge. Ces exigences peuvent nécessiter une modification du tunnel ou l'installation d'équipements techniques supplémentaires.

Des exigences plus strictes aux niveaux sanitaire et sécuritaire pour l'environnement dans le travail peuvent rendre plus difficile la conformité pour obtenir la permission de travailler dans un tunnel avec de la circulation, des courants d'air, du bruit, de la poussière et de la pollution atmosphérique.

7.6 Entretien systématique - Méthodes d'entretien

Il existe plusieurs formes habituelles d'entretien. Les problèmes d'entretien sont généraux, qu'il s'agisse des machines dans un atelier, d'un derrick en mer, d'une laiterie ou d'un tunnel routier.

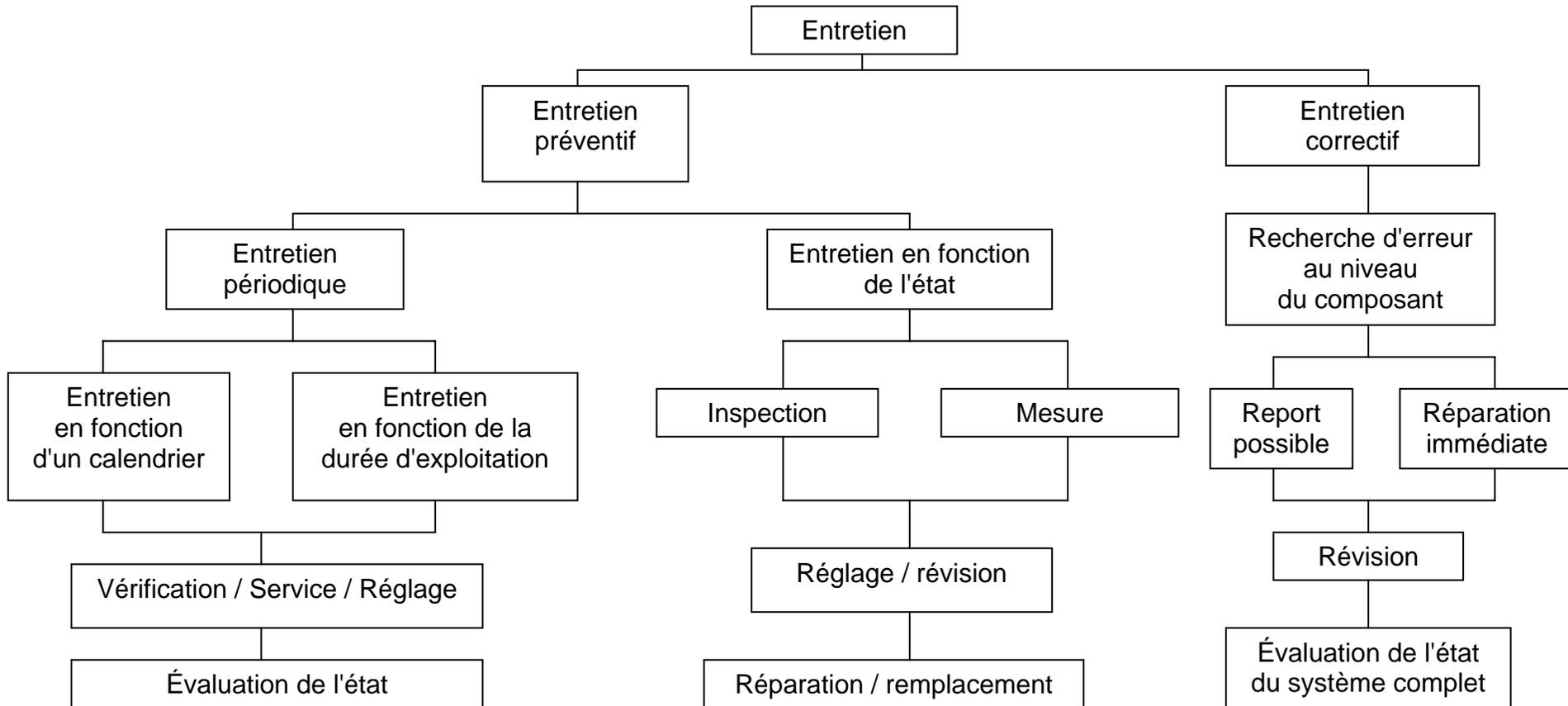
Certains systèmes sont bien étudiés et contribuent à l'exploitation d'un tunnel qui est sûre pour tous ses usagers. D'autres formes d'entretien, à l'aveuglette, partant d'activités non coordonnées, ne fournissent pas les niveaux de sécurité nécessaires.

L'entretien planifié

L'entretien des tunnels devrait être un entretien planifié. Un système d'entretien planifié consiste en un entretien préventif, qui peut être périodique ou en fonction de l'état des équipements, mais il comportera toujours un élément d'entretien correctif/inattendu, qu'il n'est ni possible ni économiquement raisonnable d'essayer d'éliminer.

La figure ci-dessous montre les différents types d'entretien planifié que l'on peut utiliser.

Entretien planifié



7.6.1 Principaux types

D'habitude, on divise l'entretien planifié en deux types principaux :

- l'entretien préventif,
- l'entretien correctif.

7.6.2 Entretien préventif

Le but de l'entretien préventif est d'empêcher une panne de fonctionnement.

L'expérience montre que l'entretien fondé sur la prévention des dégâts aux composants et aux systèmes est plus sûr, plus efficace et plus économique que l'entretien fondé sur la réparation des anomalies ou des dégâts. Dans la mesure où le système d'entretien est systématique et bien planifié, on obtiendra ce que l'on connaît sous l'appellation d'entretien préventif systématique.

Le point de départ de l'entretien préventif des tunnels (ainsi que des bâtiments, des machines et des équipements), ce sont les instructions des concepteurs et des fournisseurs, et les directives que le propriétaire de tunnel a incorporées dans les instructions d'exploitation.

S'il existe de nombreux types d'équipements et plusieurs fournisseurs ou constructeurs, les différences qui s'ensuivront dans les directives d'entretien rendront difficile l'exécution de l'entretien de manière cohérente. Il faudrait faire le point de chaque directive et si possible les corriger/rejeter pour mieux répondre aux exigences de l'ensemble du système d'entretien. Les équipements doivent répondre aux besoins de l'exploitant (client), pas du fournisseur.

L'entretien préventif systématique aide souvent à garder le coût de l'entretien à un niveau acceptable. Le système doit se fonder sur l'expérience et les attentes moyennes - ces dernières peuvent parfois aboutir à trop ou trop peu d'entretien. L'environnement dans le tunnel est un exemple d'élément qui aura une influence considérable. Un tunnel poussiéreux et humide, à haute teneur en sel, aura un effet plus néfaste sur les équipements qu'un tunnel sec et bien ventilé.

Il existe deux types d'entretien préventif :

- l'entretien périodique,
- l'entretien en fonction de l'état.

7.6.3 Entretien périodique

L'entretien périodique s'effectue avant que les dégâts n'aient eu lieu, et les procédures d'entretien périodique (c'est-à-dire après des périodes prédéterminées) sont utilisées dans ce type d'entretien. La longueur des périodes est normalement déterminée :

- en fonction d'un calendrier,
- en fonction de la durée d'exploitation.

Vérification, le service et réglage

Dans tous les types d'entretien périodique, on vérifie l'état et le fonctionnement des composants et on effectue immédiatement ou ultérieurement tout travail supplémentaire nécessaire.

Évaluation de l'état

Un aspect du système d'entretien périodique est que les inspections s'effectuent dans lesquelles à la fois les composants et les systèmes complets sont évalués afin de déterminer quand et dans quelle mesure les interventions majeures, comme les remplacements, sont nécessaires.

7.6.4 Entretien en fonction d'un calendrier

La forme la plus simple d'entretien en fonction d'un calendrier est l'emploi de listes récapitulatives normalisées en fonction de la durée d'exploitation du tunnel (pas de l'équipement) ou d'un calendrier. Les intervalles pourraient être, par exemple, de 125, 250, 500 ou 1 000 heures, ou hebdomadaires, mensuels, trimestriels, etc. L'intervalle choisi pour des composants d'un équipement particulier dépend des durées moyennes qui se sont écoulées entre les besoins d'entretien.

La liste récapitulative indique aussi le type de travaux à réaliser et permet d'enregistrer l'exécution de chaque tâche. La personne responsable de s'assurer que la tâche d'entretien a été effectuée correctement signe la liste.

L'entretien en fonction d'un calendrier est un bon point de départ pour les nouveaux exploitants qui ne sont pas habitués aux procédures, et participe à l'entretien systématique. Il y aura sans doute un manque d'informations nouvelles pour justifier les changements continuels d'intervalles afin d'obtenir le régime d'entretien optimal absolu. L'entretien en fonction d'un calendrier est donc recommandé dans des situations où il est important d'introduire l'entretien systématique ; on peut l'employer pour commencer avant de passer à des systèmes plus actifs.

7.6.5 Entretien en fonction de la durée d'exploitation

L'entretien en fonction de la durée d'exploitation se rapporte à la durée réelle d'exploitation des équipements individuels. La durée d'exploitation est enregistrée au moyen de compteurs automatiques, bien qu'il soit également possible de le faire manuellement. La documentation sur l'entretien indique le nombre d'heures qui doivent s'écouler entre les divers types d'entretien et de service.

7.6.6 Entretien en fonction de l'état

Il est important de se rendre compte de la proportion dans laquelle on peut réduire les coûts de l'entretien préventif. C'est possible grâce à l'entretien en fonction de l'état. En employant des méthodes de vérification de l'état, on peut déterminer le moment convenable pour l'entretien, de sorte que l'intervention n'est ni trop précoce ni trop tardive.

Le but de l'introduction de méthodes de vérification de l'état est de réduire l'importance de l'entretien préventif et le rendre plus efficace, d'augmenter les intervalles de service et d'obtenir une meilleure vue d'ensemble de l'état du tunnel et de ses équipements.

Inspection

La forme la plus simple de vérification de l'état est une inspection visuelle/auditive, ce qui veut dire que l'on recherche des fuites, des coupures, des fissures, la formation d'un arc, des composants desserrés et des défaillances, et que l'on prête l'oreille pour distinguer des sons insolites.

Mesure de l'état

L'état des équipements peut s'évaluer en effectuant des mesures sur les équipements en cours d'exploitation. Des méthodes plus avancées se fondent sur des capteurs ou des indicateurs fixés, comme les mesures de température, les mesures de paramètres électriques, les analyses de vibration, etc. Les systèmes de surveillance de fonctionnement pour l'éclairage, la ventilation et le pompage facilitent l'introduction de la vérification automatique. Les indicateurs et capteurs automatiques sont employés de façon très limitée en entretien préventif de tunnel dans les pays nordiques aujourd'hui, mais il est techniquement possible d'augmenter énormément leur emploi. Toutefois, il faut étudier les coûts par rapport aux bénéfices que l'on peut attendre de ces instruments.

7.6.7 Entretien correctif

L'entretien correctif implique l'exécution de mesures d'entretien après une panne de fonctionnement ou un accident. Ce type d'entretien réduit beaucoup la sécurité de fonctionnement, puisqu'il est fondé sur l'hypothèse que les composants continueront de fonctionner pleinement jusqu'à ce qu'une défaillance se produise. Il n'est pas possible de planifier ou d'établir un budget correctement pour les mesures d'entretien demandées. Ce type d'entretien s'appelle aussi "entretien en fonction des pannes".

Bien que l'entretien préventif soit généralement préférable, certaines parties de l'installation peuvent être entretenues en fonction de l'entretien correctif. Cela veut dire que les parties en question ne sont pas entretenues, mais remplacées quand un défaut survient.

Pour l'entretien correctif « planifié », il faut décider à l'avance quels composants doivent être pris en compte et dans quel délai ils doivent être remplacés. En d'autres termes, des mesures correctives sont envisagées, mais il est impossible de prévoir quand. Cela n'est défendable que si la sécurité des usagers de la route n'est pas en jeu. Dans le cas contraire, la redondance des composants sera peut-être nécessaire pour assurer la continuité de l'exploitation du tunnel.

Même avec l'entretien préventif, il faut accepter que les composants seront exposés à une défaillance ou à des dégâts provenant de l'impact d'un véhicule. Quand cela arrivera, il faudra décider si l'anomalie doit être réparée immédiatement ou si le travail peut être reporté à un moment plus approprié.

7.7 Outils de gestion

Un outil informatique de traitement des données sur l'entretien peut aider à augmenter l'efficacité et à réduire les coûts de l'entretien. Les logiciels appropriés peuvent simplifier le traitement de l'information.

Il faut faire en sorte que l'utilisateur puisse porter facilement des modifications et ajouts aux manuels et aux procédures de fonctionnement, aux informations en retour des inspections, aux comptes rendus issus des contrôles fonctionnels, de l'entretien et de la réparation, aux informations en provenance du système SCADA du tunnel, aux décisions prises aux réunions, etc. Extraire des informations ou faire des modifications doit également être simple.

Le système peut donner à l'utilisateur une vue d'ensemble des tâches d'entretien actuelles en suspens, de façon à utiliser les ressources de manière efficace.

L'outil peut aussi donner à l'utilisateur l'accès à tous renseignements utiles sur le tunnel, les documents de travail, les croquis et le cahier des charges, au moyen de la technologie de l'information. Grâce à cette technologie, il est aussi possible d'avoir de nombreux points d'accès à un élément d'information donné.

L'outil aide à améliorer l'assurance de la qualité. Chaque élément d'information, croquis, procédure, etc., est stocké et actualisé en un seul lieu, de façon à ce que tous ceux qui ont accès au système trouvent toujours la version correcte et actuelle de l'élément recherché.

Un certain nombre d'outils logiciels grand public concernant l'entretien sont disponibles, et tous, jusqu'à un certain point, répondent aux besoins de gestion des tunnels. Cependant, les développements sont extrêmement rapides, et on peut s'attendre à ce que l'emploi de la technologie informatique aboutisse à la rationalisation et à la centralisation de la gestion du tunnel.

7.8 Niveau d'entretien

Le niveau d'entretien dépend des normes nationales et du financement disponible. Si les crédits disponibles sont insuffisants, le niveau d'entretien le sera également et la durée de vie des équipements installés court un grand risque d'être écourtée. Il peut en résulter une réduction des niveaux de service et de sécurité, et il faudra peut-être en fin de compte invoquer la fermeture du tunnel. Des niveaux de dépenses régulières et suffisantes, sans surprise, sont les plus faciles à traiter à la fois par les fournisseurs des fonds et les exploitants.

7.9 L'organisation de l'entretien

Le propriétaire du tunnel, ou l'administration chargée de l'exploitation et de l'entretien, doit établir une structure d'organisation pour l'entretien technique, les procédures pour l'incendie et le sauvetage, de même que l'exploitation de la circulation.

L'organisation opérationnelle est chargée de l'actualisation des procédures, des manuels, des cahiers des charges, etc., pour traiter :

- des problèmes aigus, à la fois les accidents de la circulation et les problèmes techniques qui nuisent à la sécurité ou à l'écoulement de la circulation,
- du service et de l'entretien, y compris la correction régulière des erreurs techniques qui ne nécessitent pas une attention immédiate,
- de la conscience et de la planification relatives aux réparations et aux remplacements majeurs.

La structure de l'organisation dépend de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont :

- le type et la quantité des équipements techniques dans le tunnel,
- l'ampleur de la surveillance et les alarmes automatiques,
- les débits de circulation,
- l'emplacement géographique,
- l'ampleur des tâches à exécuter.

L'organisation de la structure dépendra du potentiel qui lui sera nécessaire dans chacun des domaines suivants.

Tâches de surveillance

C'est la surveillance pour des événements qui aboutissent habituellement à alerter la police, les pompiers ou les services de secours. Dans certains pays, c'est le personnel du tunnel, et dans d'autres, la police ou un centre d'alerte qui s'occupe de ces tâches.

Tâches opérationnelles

Le personnel du tunnel ou une entreprise exécute ces tâches. Dans une certaine mesure, les tâches peuvent être planifiées à l'avance (par exemple, le nettoyage, le lavage, le balayage).

Entretien préventif

Ces tâches sont exécutées par le personnel du tunnel ou une entreprise, et peuvent être planifiées, en détail, à l'avance.

Entretien correctif / Réparations des dégâts

Ces tâches ne peuvent pas être planifiées à l'avance. Cependant, il faut planifier les procédures à suivre en cas de défaillance ou de dégâts. Il existe deux stratégies pour traiter ces situations :

- le personnel de surveillance qui peut empêcher la propagation des dégâts, et faire venir les spécialistes indispensables ; cela revient relativement cher, car il faut payer les salaires à des personnes qui sont de service continuellement, au cas où se produirait un accident ou une irrégularité ; la solution ne peut être recommandée que lorsque ces événements sont si fréquents qu'ils occupent une personne la majorité du temps ou que l'on peut y associer d'autres tâches ;
- la surveillance électronique, avec une liaison d'alarme pour rechercher et localiser d'autres personnes de service ou de réserve ; le type et le site de l'accident ou de l'irrégularité sont indiqués par un code ; une personne de service doit décider si l'incident demande une attention immédiate ou peut attendre jusqu'à un moment propice ; pour faciliter ces décisions, on regroupe souvent les alarmes selon l'importance et la rapidité d'intervention nécessaire (par exemple, alarmes de niveaux A, B et C).

La distinction entre les domaines de responsabilité de la police, du centre local de surveillance de la circulation et de la direction du tunnel varie suivant le pays. Dans chaque cas, une analyse de l'état de préparation de la circulation et des tâches d'exploitation technique devrait être effectuée, afin d'évaluer dans leur totalité la charge de travail et les ressources nécessaires.

Une fois que l'on a défini les domaines de responsabilité, les niveaux de compétence et la liste des activités (importance, fréquence, durée, etc.), on a des bases pour décider entre un centre de surveillance, occupé 24 heures sur 24, ou une liaison du tunnel avec un centre de surveillance ou une autre organisation existants.

Dans plusieurs administrations routières, il y a un débat en cours sur la mesure dans laquelle les travaux de tunnel peuvent ou devraient être exécutés par des employés du secteur public ou s'ils pourraient être confiés à des entreprises du secteur privé.

On pourrait mettre avantageusement en adjudication une proportion considérable de tâches d'exploitation et d'entretien. Faire exécuter les travaux par des entreprises privées fournit un arrangement souple, car on peut s'entendre sur un prix pour de nombreuses activités (ou consulter des tarifs prévus à l'avance), chaque fois que le travail doit être effectué - l'ampleur et la fréquence de ces travaux peuvent alors être optimisées sans le besoin de payer du personnel non productif dans des périodes calmes.

L'emploi efficace de consultants pour la planification et la surveillance peut aussi conduire à des réductions de personnel dans la hiérarchie du propriétaire du tunnel.

Toutefois, les avantages et les inconvénients devraient être examinés avant de décider des tâches à confier aux consultants et aux entreprises. Les consultants et les entreprises ayant l'expérience nécessaire pour travailler avec efficacité dans les tunnels routiers sont relativement peu nombreux. À moins que le maître d'oeuvre ne conserve un certain savoir-faire, il y a un risque que les consultants et les entreprises finissent par avoir une position de monopole qui conduira rapidement à la hausse des honoraires et des coûts. Un « maître d'oeuvre intelligent » sait aussi ce qui est souhaité, pourquoi, et si c'est effectivement fourni.

7.10 Types de contrat

Dans de nombreux pays, il y a un débat politique sur qui est chargé de l'exploitation des travaux publics : l'administration ou l'entreprise privée (financement compris). Le groupe de travail ne devrait pas participer à ce débat. Cependant, il est important que l'organisation retenue possède une distinction nette, en ce qui concerne le coût, entre le travail de l'administration et celui que l'on peut confier à une entreprise. Cela permettra au directeur administratif de faire usage de l'évaluation des performances et d'un jugement de la meilleure pratique pour une stratégie de sous-traitance qui réduit les coûts d'entretien.

7.11 Choix des équipements et de la solution technique

Le choix des équipements de tunnel et la solution technique sont les éléments qui ont probablement le plus d'influence sur les coûts d'entretien. C'est une question de planification qui ne peut malheureusement pas être liée à l'exploitation. Cependant, le groupe de travail fait remarquer (voir les chapitres 8 et 9) certaines règles de base qui devraient s'appliquer particulièrement puisque les équipements sont soumis au renouvellement périodique et que les solutions techniques peuvent être modifiées si elles engendrent des coûts d'entretien ou d'exploitation intolérablement élevés.

7.11.1 Choix des équipements

Le choix des équipements se fait très souvent en fonction du coût de l'investissement initial. Il importe que les choix se fondent sur l'analyse du coût de toute la durée de vie dans laquelle on prend en compte les programmes d'entretien et les méthodes d'exploitation. Le groupe de travail de l'AIPCR sur l'entretien, la gestion et l'exploitation a présenté, en 1989, un rapport sur le sujet « *Time of Life and Time of Redemption of Road Tunnel Equipment* ». Ce rapport donne des recommandations sur ce que l'on peut attendre des équipements et montre qu'il y a une vaste différence entre l'espérance de vie la plus courte et la plus longue des équipements installés, ce qui devrait certainement influencer les décisions et le besoin de réduire le coût d'entretien.

7.11.2 Choix de solutions techniques

Pour réduire le coût de l'entretien, il est important de :

- donner au tunnel une ligne aérodynamique, de façon à empêcher la poussière de s'amasser dans les coins ;
- éviter les plans horizontaux, en dehors du trottoir et de la bordure, où la poussière risque de s'amasser ;
- assurer un accès facile aux hommes et aux machines d'entretien à toutes les zones qui doivent être entretenues ;
- s'assurer que l'entretien peut être exécuté de manière simple et en un minimum de temps ;
- choisir des équipements, des matériaux et des revêtements qui demandent un entretien moindre, moins fréquent et plus simple.

7.12 Facteurs environnementaux

Pneus cloutés

Dans certains pays aux hivers rigoureux, les autorités permettent l'emploi de pneus cloutés. Les pneus cloutés produisent de grandes quantités de débris et de poussière du fait de l'usure du revêtement bitumineux exposé. Une voiture à pneus cloutés en produit environ 20 g/km, un poids lourd en produit 5 fois plus. Pour les tunnels, la poussière est un problème d'entretien très onéreux, particulièrement dans les tunnels à circulation bi-directionnelle. Le développement des pneus d'hiver non cloutés a atteint un tel niveau que les pneus cloutés ne sont plus nécessaires. L'interdiction des pneus d'hiver cloutés peut réduire considérablement les coûts de nettoyage et d'entretien routier de la saison d'hiver.

Enlèvement des poussières du tunnel

La poussière et la saleté en provenance de la route et des émissions de véhicules finiront au bord de la route, par-dessus les équipements, sur les parois et dans le système d'évacuation des eaux. Un grand nombre de ces éléments est toxique et doit être traité comme tel (PAH⁷, PCB et le plomb en sont des exemples).

Les déchets venant du tunnel doivent donc être traités selon les lois nationales sur la mise au rebut des résidus toxiques/dangereux. Le nettoyage de l'air avant de le laisser sortir du tunnel peut être nécessaire et cela aura tendance à augmenter le coût de l'entretien.

Si les lois nationales le permettent, le nettoyage fréquent du tunnel peut réduire la quantité de particules dans l'air et aussi le besoin de filtrage de l'air. Cela réduira également l'exposition aux poussières toxiques des ouvriers qui se trouvent dans le tunnel.

7.13 Conclusion et recommandation

Le Comité des Tunnels de l'AIPCR porte un intérêt général à la réduction des coûts de l'entretien. Toutefois, là où les tunnels existants ont été améliorés grâce à des équipements de sécurité supplémentaires et plus complexes, à des demandes plus strictes sur l'environnement et à un environnement de travail plus contrôlé, il y a une tendance à la hausse des dépenses d'entretien. Néanmoins, les économies sont encore possibles :

- en préparant soigneusement le plan de sécurité, on peut trouver une solution qui aura un équilibre raisonnable entre la forme géométrique du tunnel et les équipements techniques nécessaires et suffisants ;
- un système d'entretien devrait être établi en s'appuyant sur l'entretien préventif, comme processus dynamique dans lequel l'ampleur et la fréquence des interventions sont sans cesse réglées suivant l'état des équipements ;
- on peut réaliser souplesse et économies en employant efficacement des consultants privés et en faisant un appel d'offres à des entreprises pour un certain nombre de tâches d'entretien ;

⁷ PAH = Phénylalanine hydroxylase (hydrocarbure polycyclique aromatique)

- l'expérience de l'entretien devrait influencer la conception et la planification du projet de tunnel et le remplacement des équipements - qui doivent tous se fonder sur les coûts sur toute la durée de vie ;
- l'emploi des nouvelles technologies et d'un système de gestion fondé sur l'analyse électronique des données / la technologie de l'information améliore l'efficacité de l'entretien.

On conclut que, malgré l'existence de facteurs qui augmentent le prix de l'entretien des tunnels, il y a encore des possibilités de réaliser des économies considérables. Les administrations routières devraient prendre en compte tous les éléments afin de rendre plus efficace l'usage de leurs budgets routiers.