

IV. GESTION ET EXPLOITATION

IV.1. Introduction

Ce chapitre décrit une méthode pour aider l'exploitant à maintenir le tunnel en service et à surveiller les travaux qui doivent être entrepris. Il présente également les moyens utilisés pour enregistrer les opérations réalisées.

L'exploitant a généralement trois principaux objectifs d'exploitation et d'entretien :

1. sécurité des usagers circulant dans le tunnel,
2. sécurité et fiabilité des équipements permettant de réduire les temps d'intervention entre les opérations d'entretien,
3. sécurité du personnel d'entretien.

Ce chapitre présente l'opinion du groupe de travail sur les meilleures modalités de gestion, d'exploitation et d'entretien d'un tunnel garantissant un fonctionnement fiable pendant toute la durée de service et pour l'usage prévu.

IV.2. Définition de l'entretien et de l'exploitation

Dans ce chapitre, le terme « entretien » désigne les travaux réalisés sur les éléments structurels et les équipements techniques, ainsi que les inspections courantes. Les débats internationaux ont souligné que les termes « entretien » et « exploitation » ont différentes significations selon les pays. Ainsi, en Norvège, les ressources humaines et financières destinées à maintenir la valeur du capital investi sont incluses dans le poste « entretien », tandis que les ressources humaines et financières destinées à assurer quotidiennement une gestion du trafic sûre et efficace sont incluses dans le poste « exploitation ». Par ailleurs, en Suisse, c'est le prix de l'opération qui détermine son inscription au poste « entretien » ou « exploitation ». Pour faciliter la rédaction et la compréhension de ce chapitre, le tableau 4.1. ci-dessous recense ces différences.

Description	Pays scandinaves	Royaume-Uni	Pays-Bas	France	Suisse
Poste de contrôle / centre d'exploitation / centre d'information	Exploitation	Exploitation	Exploitation	Exploitation	Exploitation
Consommation électrique			Entretien		Entretien
Remplacement des ampoules, etc.		Entretien < coût fixe Entretien > coût fixe			
Nettoyage des murs, etc.					
Inspections	Entretien	Entretien	Entretien	Entretien	Entretien > coût fixe
Réparation des défauts					
Remplacement d'éléments importants	Remise en état	Remise en état	Remise en état	Remise en état	Remise en état

Tableau 4.1 - Différences de définition entre quelques pays européens

IV. MAINTENANCE AND OPERATION

IV.1. Introduction

This chapter describes a method that will support the tunnel operator in keeping the tunnel operational and help to monitor the work to be undertaken in the tunnel. It also shows how this may be documented.

The operator of a tunnel will normally have three main objectives for the operation and maintenance of the tunnel:

1. safety - for the public travelling through the tunnel;
2. safety - in the form of reliable equipment to reduce service time between maintenance;
3. safety - for the maintenance staff.

This chapter describes the working group's views on the best way to manage, operate and maintain a tunnel so that it will be safe to use during its lifetime and intended use.

IV.2. Definition of maintenance and operation

In this chapter, "maintenance" includes work on both the structural elements and the technical equipment, as well as routine inspections. International discussions have identified that the words "maintenance" and "operation" have different meanings in different countries. For instance, in Norway, work and money spent on keeping the invested capital from being devalued is defined as maintenance whilst work and money to maintain a safe and efficient traffic flow on a daily basis is defined as operation. Alternatively, the cost of an activity in Switzerland determines whether it is classed as maintenance or operation. To make it easier to both write and understand what is written in some of the following a table is provided to highlight these differences (see table 4.1 below).

Description	Scandinavian countries	UK	Netherlands	France	Switzerland
Traffic Control / Operation / Information Centre	Operation	Operation	Operation	Operation	Operation
Electricity consumption			Maintenance		Maintenance
Changing bulbs, etc		Maintenance		Maintenance	
Cleaning of walls etc	Maintenance		Maintenance		Maintenance
Inspections		Maintenance		Maintenance	
Repairing faults	Maintenance		Maintenance		Maintenance
Changing major parts		Refurbishment		Refurbishment	

Table 4.1 - Differences of definition in some European countries

IV.3. Système de gestion et plan qualité

Le groupe de travail souhaite insister sur l'intérêt d'introduire le concept de qualité dans toutes les questions liées à l'exploitation et à l'entretien d'un tunnel routier. Le plan qualité constitue la base du système qualité d'un tunnel. Son contenu est présenté au chapitre II. Le plan qualité peut décrire comment les différents manuels du système de gestion sont liés entre eux, comment ils doivent être adaptés aux stratégies de gestion, etc.

IV.3.1. Système de gestion du tunnel (SGT)

Le système de gestion du tunnel fait partie du système qualité et est composé de nombreux manuels différents. Parmi eux, le manuel qualité décrit comment les autres systèmes doivent être construits, quelles réglementations nationales sont applicables à quels travaux, quelle stratégie le maître d'ouvrage doit adopter, etc.

IV.3.2. Objectif

L'objectif visant à assurer un niveau d'entretien correct peut être énormément influencé par des pressions politiques. Malgré ce constat, il est nécessaire d'établir des objectifs et des principes communs afin que tous les acteurs et parties prenantes comprennent et acceptent les stratégies d'entretien et d'exploitation. Cette mesure s'est avérée utile dans la prise de décisions en cas d'imprévu.

Un exemple d'objectif de ce type pourrait être le suivant : « **L'objectif de l'entretien d'un tunnel est d'assurer la circulation des usagers en toute sécurité, en maintenant le niveau de sécurité prévu** ». Il peut également être nécessaire d'ajouter la phrase suivante : « **Cet objectif doit être atteint sans mise en danger des riverains ni des agents de maintenance et sans réduction inutile du capital investi** » ([1], § 7.1.1.).

Il est également important que toutes les personnes concernées comprennent et acceptent ce(s) objectif(s) et que les performances soient évaluées à intervalles déterminés, afin de vérifier si le(s) objectif(s) ont été atteints.

IV.4. Coûts d'entretien et d'exploitation

L'expérience a montré qu'une part importante des coûts d'entretien est déterminée par les décisions prises au cours des phases de conception et de construction du tunnel. Malheureusement, les personnes travaillant à ces stades du projet ont souvent une expérience limitée des facteurs influant sur les coûts d'entretien. Les estimations du degré d'influence exercé sur les coûts d'exploitation et d'entretien aux différentes phases d'un projet de tunnel sont indiquées ci-dessous.

Influence sur les coûts d'exploitation et d'entretien	Degré d'influence
Planification (dont rédaction des manuels de conception)	60 - 80 %
Construction	10 - 30 %
Exploitation	10 - 30 %

IV.3. Management system and the Quality Plan

The working group wishes to emphasise the importance of introducing the concept of quality in all matters relating to the operation and maintenance of road tunnels. A Quality Plan (QP) will be the backbone of a tunnel quality system. The content of a QP is described in Chapter II. The QP may describe how different manuals in the management system are related and how they must conform to management strategies, etc.

IV.3.1. Tunnel Management System (TMS)

A Tunnel Management System is also a part of the quality system and contains many different manuals. One of these may be the Quality Manual that describes how the other systems must be built up, what national regulations apply to different work, what strategy the owners will follow, and so on.

IV.3.2. The Goal

The objective of achieving a correct standard of maintenance for a road tunnel may be greatly influenced by political pressures. However, disregarding this consideration it is still necessary to establish common objectives and principles in order that all parties and stakeholders understand and accept the maintenance and operating regimes. This has been shown to be helpful in making decisions when unplanned situations occur.

An example of such a goal might be: **“The goal of the tunnel maintenance is to ensure safe driving for the public by keeping the tunnel at the designed safety standard.”** It might also be necessary to include the following: **“This goal has to be obtained without risk to the neighbouring population, maintenance workers and without unnecessary reduction of invested capital”** (ref.1: Chapter 7.1.1)

It is also important that everybody involved understands and accepts this goal(s) and that the performance is checked at certain intervals to see if the goal is being achieved.

IV.4. Maintenance and operating cost

Experience has shown that a substantial part of maintenance costs are determined by decisions taken during the design and construction phases of a tunnel project. Unfortunately, those involved in these phases of a project frequently have only limited experience of those factors effecting maintenance costs. Estimates of the level of influence on the operation and maintenance costs at the various phases of a tunnel project are shown below.

Influence of operation and maintenance cost by:	Level of influence
Planning – (including design manuals)	60 - 80 %
Construction	10 - 30 %
Operation	10 - 30%

Le rapport entre les coûts d'entretien et le degré d'influence exercé sur ces coûts peut être illustré par un graphique (voir figure 4.1). La phase de planification dure généralement 3 à 10 ans, la phase de construction entre 2 et 3 ans et la phase d'exploitation entre 5 et 20 ans pour les installations et les équipements et entre 80 et 100 ans pour le tunnel. Ces durées ne prennent pas en compte les éventuelles opérations de remise en état.

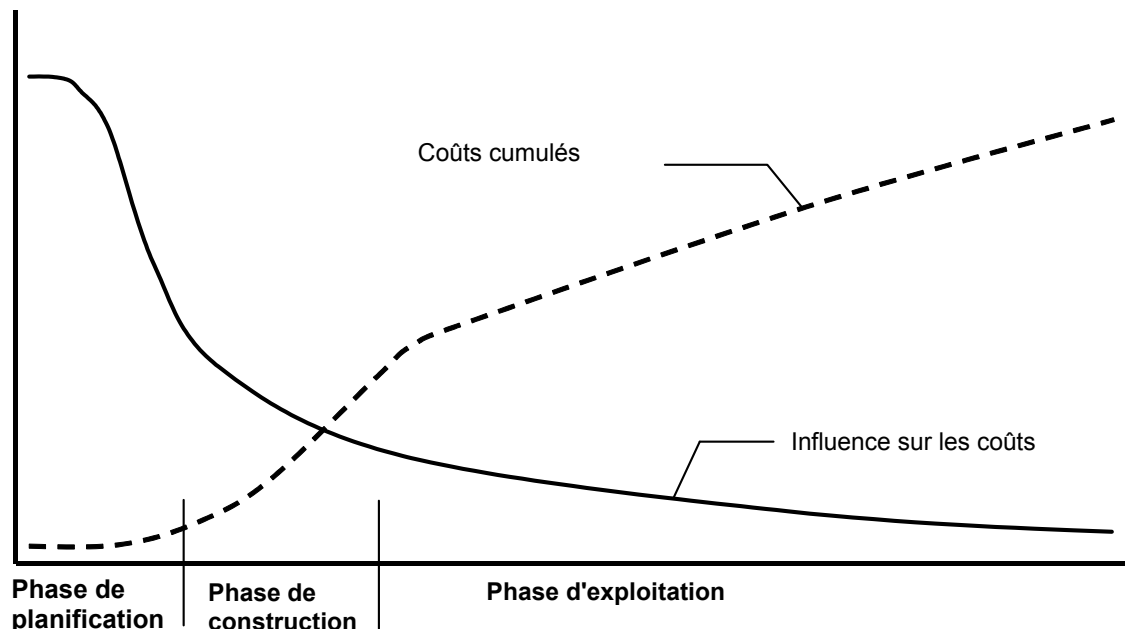


Figure 4.1 - Illustration des coûts cumulés et du degré d'influence sur les coûts

Cette figure montre qu'il est extrêmement important de prendre en compte les exigences d'exploitation et d'entretien du tunnel pendant les phases de planification et de conception. Pour obtenir les meilleurs résultats, il convient que les exploitants soient consultés et puissent donner leurs recommandations pendant toute la procédure de planification. Cela signifie qu'il faut faire appel à des entreprises de maintenance expérimentées et à l'estimation des coûts du cycle de vie pour choisir entre différentes solutions ou options. Si cela n'est pas possible, il faut établir des méthodes d'évaluation détaillée de la structure et des systèmes présents dans le tunnel. Le groupe de travail pense que les enseignements de l'expérience peuvent être très utiles pour choisir l'option la plus intéressante lorsqu'on doit comparer les exigences d'entretien et d'exploitation aux coûts de construction du tunnel. On peut ainsi obtenir un coût d'investissement plus élevé, mais des coûts sur la durée de vie plus faibles (voir chapitre 8). Il est important de bien comprendre les aspects politiques et techniques liés à cette question.

IV.5. Système de gestion du tunnel

IV.5.1. Généralités

Les tunnels modernes sont des systèmes techniques complexes qui ont plus à voir avec les usines de production industrielle qu'avec le reste du réseau routier. Ce phénomène, qui s'est développé depuis quelque temps, oblige les maîtres d'ouvrage et les exploitants à utiliser des méthodes et des techniques spécifiques pour gérer et contrôler toutes les opérations d'inspection et d'entretien nécessaires.

The relationship between the cost of maintenance and the level of influence exercised on these costs can be shown diagrammatically (see figure 4.1 below). The planning phase is normally 3 to 10 years, the construction phase 2-3 years while the operational phase may be from 5 to 20 years for installations/equipment and 80 to 100 years for the tunnel structure. This does not include possible refurbishment activities.

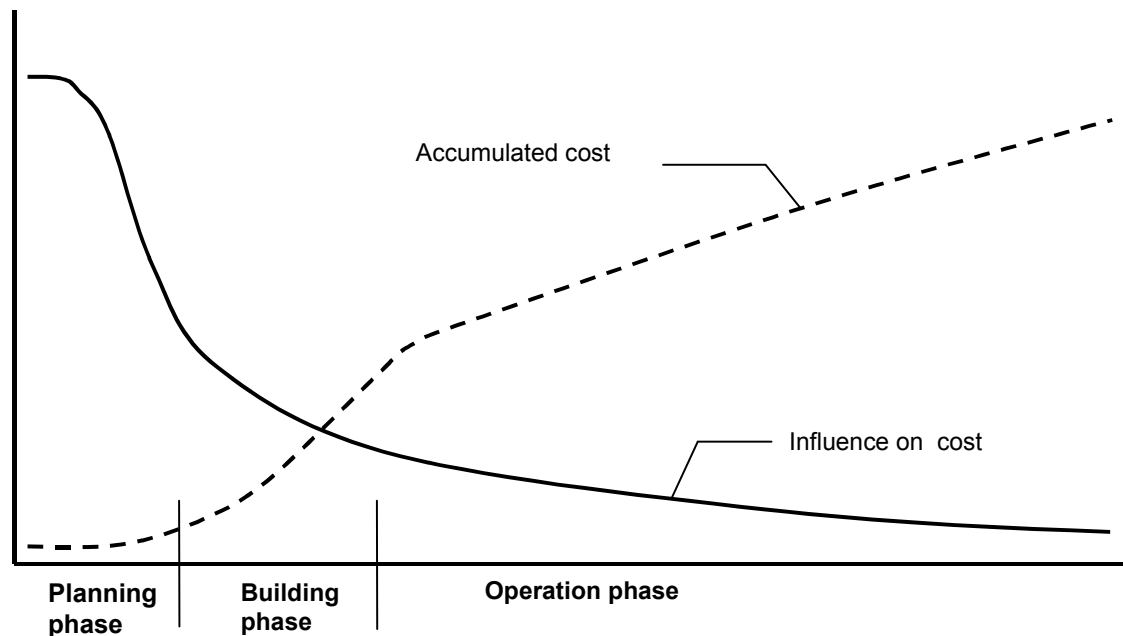


Figure 4.1 - Illustration of accumulated cost and corresponding level of influence on cost.

This demonstrates that it is of utmost importance to take tunnel operation and maintenance requirements into account during the planning and design of a road tunnel. To achieve the best results it is important that operators are consulted and give advice during the whole planning process. This means that experienced maintenance organisations must be involved, as well as the use of life cycle cost criteria, when choosing between different solutions or options. If this is not possible, it is important to establish comprehensive methods for evaluating the structure and systems within a tunnel. The working group places great emphasis on the use of previous experience in gaining the greatest benefits when balancing the maintenance/operational requirements against the cost of constructing a tunnel. The result may be a higher investment cost but lower whole life costing. (See chapter 8) It is important to understand the political and technical issues with regard to this matter.

IV.5. Tunnel Management System

IV.5.1. General

Modern tunnels are complex technical engineering systems that have more in common with some industrial production plants than they do with the rest of the road network. This has developed over some time and has made it necessary for the owners and the operators to bring into use methods and techniques to manage and control all the necessary inspection and maintenance work.

Dans certains pays, il existe des réglementations nationales régissant l'exploitation des tunnels. Elles exigent la rédaction et la remise de documents et de rapports aux autorités compétentes, relatifs à l'état et à l'entretien des tunnels et de leurs équipements de sécurité. Cette documentation peut porter sur toutes les opérations d'entretien et d'inspection réalisées par l'exploitant. Les registres d'inspection et d'entretien doivent être facilement consultables par ces autorités. Ils peuvent être manuels, mais seront plus efficaces s'ils sont informatisés.

Pour atteindre les objectifs fixés en matière de gestion, d'exploitation et d'entretien d'un tunnel, il faut disposer d'un ou de plusieurs systèmes capables de recueillir les informations pertinentes et de les transmettre à tout moment.

Ce système est appelé **système de gestion du tunnel (SGT)**. En principe, il sert à l'exploitant pour les tâches suivantes (voir figure 4.2) :

1. planifier les travaux d'exploitation ou d'entretien nécessaires, en fonction des programmes, des personnels (dûment qualifiés et formés) et des matériels,
2. générer des analyses de coûts pour aider à la planification (suivis, budgets...), au contrôle qualité et aux historiques d'entretien concernant les travaux entrepris dans le tunnel (exigence légale ou réglementaire dans de nombreux pays),
3. optimiser les activités d'entretien du tunnel (raccourcir ou allonger les intervalles d'entretien, décider de remplacer un composant ou de l'entretenir...),
4. offrir un retour d'informations techniques sur le tunnel et les systèmes installés.

Le schéma ci-dessous décrit les activités constituant la procédure du SGT. La base de la pyramide indique le recueil de données (nombre d'éléments ou de composants de la structure ou de l'installation) et les étages supérieurs montrent comment ces informations sont utilisées.

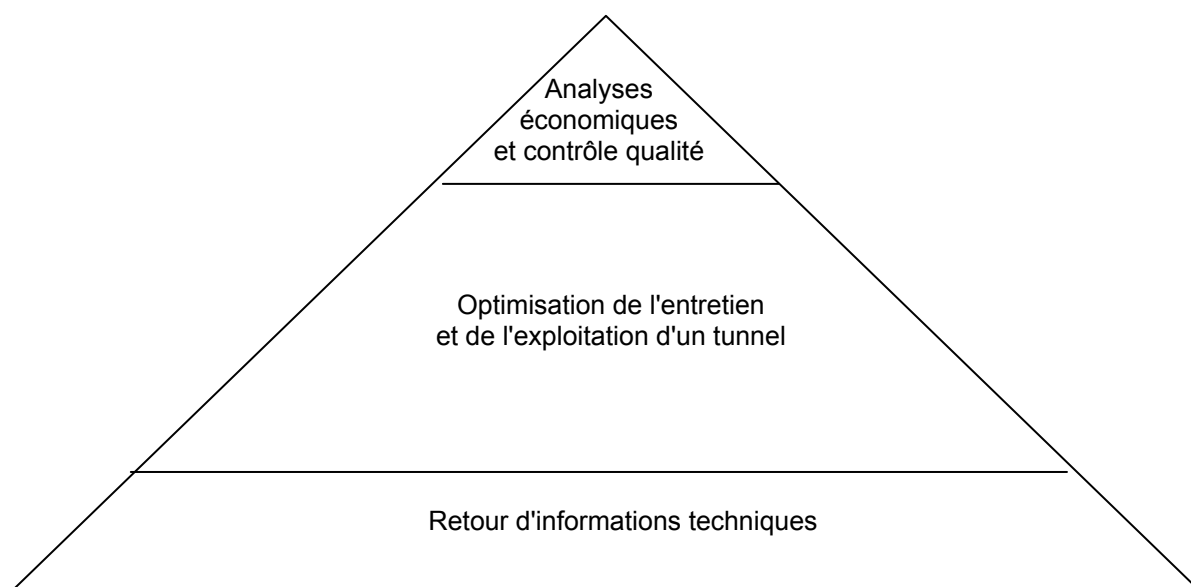


Figure 4.2 - Procédure du système de gestion du tunnel

In some countries, national regulations refer to tunnel operations. This requires the production and delivery of documents and reports to various authorities on the condition and maintenance undertaken on the tunnel structures and safety equipment. This may include all the maintenance work and inspections done by the operator. The inspection and maintenance records must be easily retrieved for examination by these authorities. Such systems may be manual, but it is more efficient if they are computer based.

In order to achieve the goals established for the administration, operation and maintenance of a tunnel it is necessary to have one or more systems to collect the relevant information and make it available at all times.

Such a system is termed a **Tunnel Management System (TMS)**. A TMS can, in principle, support the operator as a tool to (see figure 4.2):

1. plan the necessary operation or maintenance work, including programme, staff (appropriately qualified and trained) and material requirements;
2. generate cost analyses to assist with planning (follow-ups, budgets etc.), quality control and historical maintenance records for works undertaken in the tunnel. (This is a legal or regulatory requirement in many countries);
3. optimise the tunnel maintenance activities (e.g. shorten or prolong maintenance intervals, decide whether to change a component or to continue to maintain it, etc.);
4. provide technical feedback on the tunnel and installed systems.

The diagram below describes the activities which make up a TMS process. The base of the triangle indicates the collection of data (i.e. number of structure and installation elements/components) whilst the upper sections show how this information is utilised.

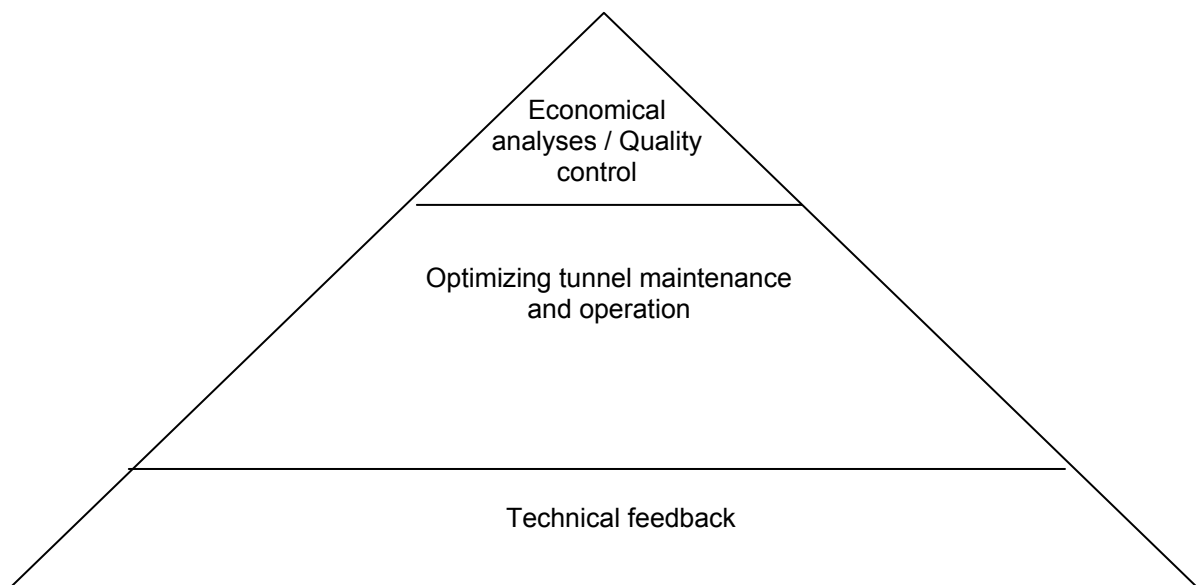


Figure 4.2 - The Tunnel Management System Process

IV.5.2. Principaux composants du SGT

Il est recommandé que le système de gestion du tunnel comprenne un ensemble de manuels. La figure 4.3 montre un exemple des titres et du nombre de documents sur lesquels un SGT peut s'appuyer. Cette liste peut être modifiée par chaque organisme afin qu'elle reflète ses pratiques spécifiques.

Le SGT dépend du nombre et du type de biens gérés par l'exploitant ou le maître d'ouvrage du tunnel.

Les manuels du SGT font partie du système qualité (voir chapitre 2).

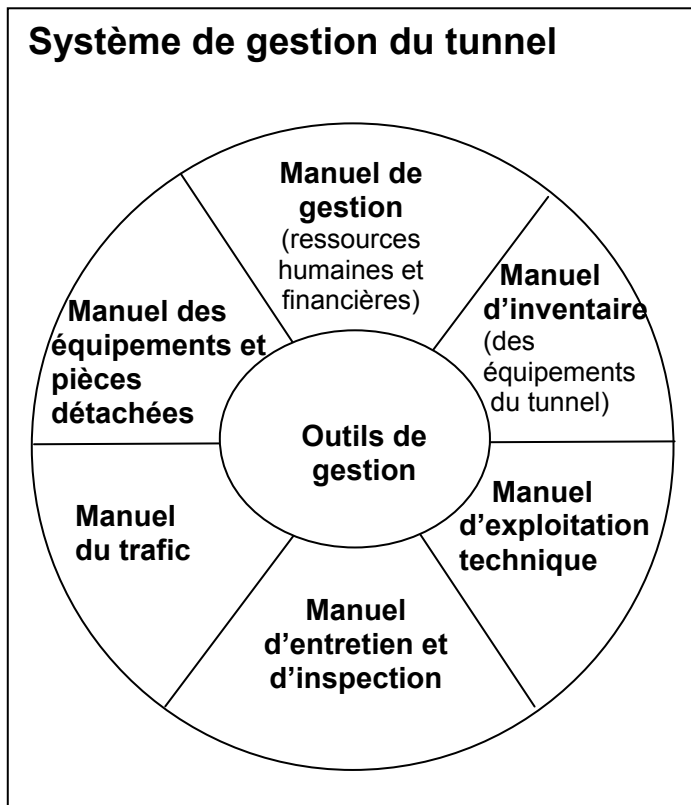


Figure 4.3 - Exemple de manuels composant un SGT

Les manuels doivent indiquer des procédures pour faire face à un grand nombre de scénarios. Chaque procédure doit comprendre un certain nombre d'instructions à suivre dont chacune déclenchera une action décrite dans un des manuels. Ce mécanisme est illustré sur la figure ci-dessous.

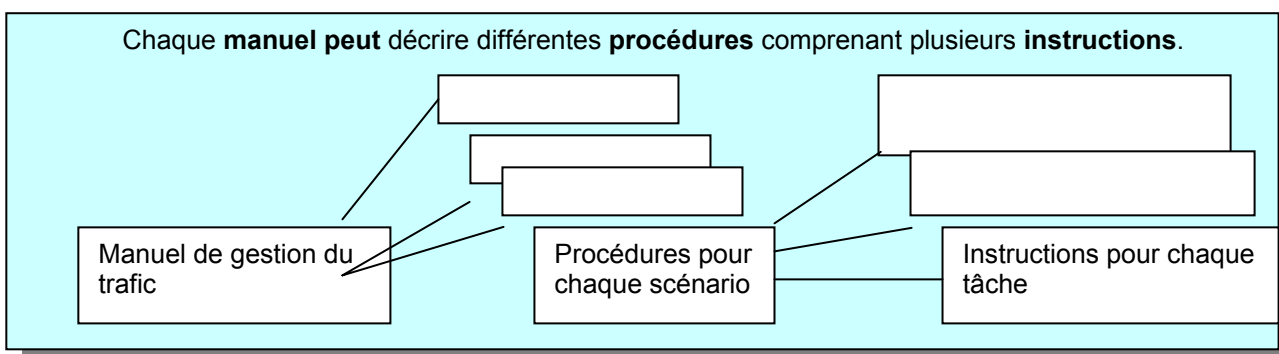


Figure 4.4 : Construction de chaque manuel à partir d'instructions et de procédures

IV.5.2. Main Components of a TMS (Tunnel Management System)

It is recommended that the tunnel management system should comprise of a set of manuals. Figure 4.3 gives an example of the titles and number of documents from which a TMS may be constructed. This can be modified by organisations to correspond to their individual working practices.

The TMS will depend on the number and type of assets managed by the tunnel operator/ or owner.

Together the TMS manuals form part of the Quality system (See Chapter 2)

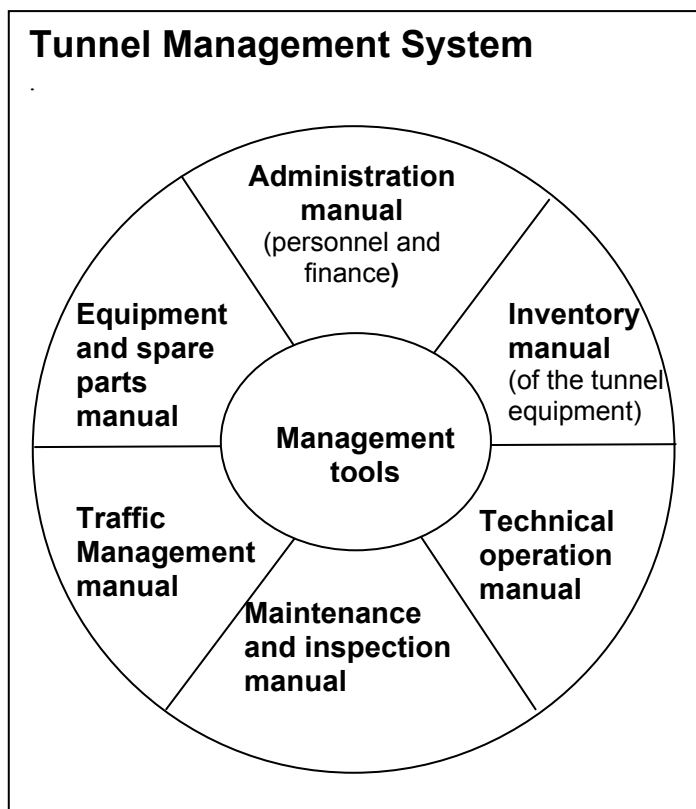


Figure 4.3 - Example of manuals forming a TMS

The manuals should contain procedures to address a whole range of scenarios. Each procedure will contain a number of instructions to be undertaken, each of which initiates an action in one of the manuals. This is shown in the figure below:

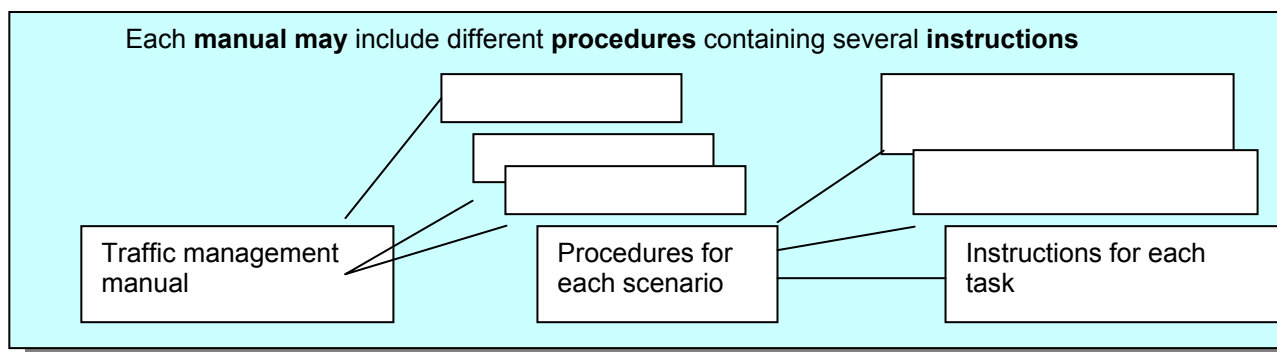


Figure 4.4 - describes how each manual is built up from instructions and procedures.

Les manuels peuvent aborder les aspects suivants.

(i) Manuel de gestion

Le manuel de gestion contient des registres indiquant les compétences, les qualifications et les formations du personnel. Il doit aussi définir clairement les responsabilités (indiquer la personne chargée de signer les accords et les contrats, afin d'éviter toute interprétation erronée à l'avenir).

Il peut également décrire comment le budget et l'ensemble des ressources financières doivent être gérés (contrôle des dépenses au sein du système).

Par ailleurs, il est utile d'obtenir une description des rapports financiers élaborés, signalant les principales informations sur les coûts. Ces chiffres clés peuvent servir d'indicateurs de coûts pour comparer et gérer tout changement dans les dépenses et comparer les coûts d'un tunnel par rapport à d'autres (voir « Évaluation des performances » au chapitre 8.5). Les exemples de chiffres clés figurant dans ce chapitre sont les suivants :

- coût de gestion total,
- coût d'exploitation et/ou d'entretien des installations,
- coût d'exploitation et/ou d'entretien des structures,
- coût d'exploitation et/ou d'entretien de la chaussée,
- coût d'exploitation et/ou d'entretien total,
- etc.

Pour optimiser l'exploitation et l'entretien, un certain nombre d'indicateurs clés peuvent mettre les évolutions en évidence, afin que l'utilisateur puisse prendre les mesures correctives nécessaires. C'est le cas du coût de gestion en pourcentage par rapport au coût de remplacement total.

(ii) Manuel d'inventaire

Pour atteindre les niveaux appropriés d'exploitation et d'entretien du tunnel, il est essentiel que l'exploitant soit parfaitement familiarisé avec l'équipement et les systèmes installés dans le tunnel, ainsi qu'avec leurs emplacements et leurs performances dans l'ingénierie d'ensemble du tunnel.

Dans le cas des nouveaux tunnels, ces informations doivent être indiquées dans le marché. Elles doivent comprendre une liste complète des équipements (type, quantité, etc.), accompagnée de toutes les données nécessaires, y compris les informations géographiques pertinentes.

Pour les tunnels en service ne disposant pas d'un registre des équipements, ces informations doivent être recueillies manuellement à l'aide d'une enquête qui peut prendre la forme d'une inspection ou d'une étude sur plan si ces derniers sont exacts.

(iii) Manuel d'exploitation technique

Ce manuel décrit les modalités d'utilisation des différents équipements et systèmes du tunnel en conditions normales, leurs capacités et les mesures à prendre dans des situations spécifiques.

The individual manuals might cover the following aspects.

(i) Administration manual

The administration manual contains personnel registers including the competence, skills and training records for individuals. It should also clearly define staff responsibilities (e.g. identify the person responsible for signing agreements and contracts to avoid misinterpretation in the future.)

It may also describe how the budget and the whole financial system are to be managed (e.g. how expenditure is to be monitored in the system).

It is also useful to have a description of the financial reports produced, identifying the key costing information. These key figures may be used as cost indicators to compare and manage changes in the expenditure and compare the costs of one tunnel against another (see Benchmarking in Chapter 8.5). Examples of some key figures relevant to this chapter are:

- cost for total management;
- cost for operation and / or maintenance of installations;
- cost for operation and / or maintenance of structures;
- cost for operation and / or maintenance of pavement;
- cost for total operation and / or maintenance;
- etc.

To optimise the operation and maintenance level a number of key indicators may show how matters are developing such that the necessary corrective actions can be taken. For instance, the cost, in percent, for management in relation to total replacement cost.

(ii) Inventory manual

In order to achieve the appropriate standards for the operation and maintenance of tunnels it is essential that the operator is fully familiar with the equipment and systems installed in the tunnel, their location and performance characteristics within the tunnel engineering framework.

In the case of new tunnels this information must be provided under the tendered contract. This should include a complete list of equipment (type, quantity, etc) with all the necessary information, including relevant geographical information.

For existing tunnels without an existing equipment asset register, the information will need to be collected manually through a tunnel survey. This could be achieved either from an inspection of the tunnel or from existing drawings if they are known to be correct.

(iii) Technical operation manual

This manual describes how different tunnel equipment and systems are used in normal operation, the capabilities of equipment and the actions to be undertaken in specific situations.

Les consignes d'utilisation de tous les équipements doivent être accessibles et parfaitement respectées. Ces informations doivent être intégrées dans le manuel d'exploitation technique. Si elles n'existent pas, elles doivent être rédigées par un personnel expérimenté.

Par exemple, si la teneur en monoxyde de carbone dans le tunnel s'élève au-dessus d'un certain niveau, la ventilation doit être mise en marche à un débit d'au moins 2 m/s. Lorsque la teneur baisse au-dessous du niveau, la ventilation doit s'arrêter. Ces seuils doivent être fixés pour chaque tunnel en fonction de la réglementation locale et de l'expérience dans l'utilisation du système de ventilation.

(iv) Manuel de trafic

Ce manuel indique toutes les procédures et instructions applicables à l'état du trafic en conditions normales et en cas d'encombrement, d'incident et d'urgence.

Par exemple, si une collision est détectée, l'exploitant doit fermer le tunnel. Les services de police, de pompiers et d'ambulance doivent être informés en fonction du plan d'urgence.

Les instructions détaillées en cas d'urgence à l'attention de l'exploitant doivent être indiquées dans le manuel du trafic. Elles doivent être approuvées par les autorités compétentes.

(v) Manuel d'entretien et d'inspection

Ce manuel donne des instructions pour l'entretien de l'ensemble du tunnel et de ses équipements, y compris pour la maintenance des composants de chaque système.

Les consignes d'entretien et d'inspection de tous les équipements doivent être accessibles et parfaitement respectées. Ces informations doivent être intégrées dans le manuel d'entretien et d'inspection. Si elles n'existent pas, elles doivent être rédigées par un personnel expérimenté.

Toutes les opérations d'entretien doivent être réalisées à titre préventif ou correctif, conformément aux définitions suivantes :

- l'entretien préventif consiste à maintenir un système en bon état de fonctionnement. Cette stratégie est justifiée si le système risque de ne plus être fiable et/ou d'entraîner des coûts de réparation élevés. Elle présente l'avantage de garantir des performances fiables et optimales, de prévenir toute défaillance imprévue et d'être facile à planifier. En revanche, on aura tendance à remplacer prématurément certaines pièces du système ;
- l'entretien correctif et/ou le remplacement interviennent lorsque l'état d'un système est devenu critique ou défaillant. Cette stratégie présente l'avantage d'utiliser les composants du système pendant leur durée de vie maximale. En revanche, la planification est difficile, des risques peuvent survenir et des coûts supplémentaires peuvent être engagés en cas de dommages dus à une défaillance.

Les différentes solutions d'entretien sont illustrées sur la figure 4.5 (réf.1).

The instructions for the operation of all the equipment must be available and fully implemented. This information should be entered in the technical operation manual. If these instructions do not exist they will have to be produced by experienced personnel.

For instance, if the level of carbon monoxide in the tunnel is above a certain level, then the ventilation has to start and the airflow must be at least 2 m/s. When the concentration is below a set level the ventilation must stop. These threshold levels must be set individually for each tunnel according to local regulation and experience operating the ventilation system.

(iv) Traffic manual

This manual should include all the procedures and instructions that are applicable to traffic situations occurring during normal, congested, incident and emergency operations.

For instance, if a collision is detected in the tunnel, the operator must close the tunnel. Police, fire fighting and ambulance services shall be informed according to the emergency plan.

Detailed emergency instructions for the operator must be included in the traffic manual. The appropriate authorities must approve these instructions.

(v) Maintenance and inspection manual

This manual gives instructions for the maintenance of the whole tunnel structure and all the equipment, including the individual components of the different systems.

The instructions for the maintenance and inspection of all the equipment must be available and fully implemented. This information should be entered in the maintenance and inspection manual. If these instructions do not exist they will have to be produced by experienced personnel.

All maintenance should be performed as preventive or corrective maintenance. These are defined as:

- preventive maintenance which keeps the systems in a good and safe condition. Preventive maintenance is justified on the grounds that without it, the systems could become unsafe and/or could only be brought back to a safe condition at high cost. This has the advantages of ensuring safe and optimum performance of the facility, no surprise failures and can be easily planned. The disadvantage is that parts of the facility will be prone to premature replacement;
- corrective maintenance and/or replacement carried out after systems have become critical or failed. This has the advantage of achieving a maximum length of life for components of the facility. The disadvantages are that planning is difficult, unsafe situations can arise due to failure and extra costs can be incurred in the event of damage resulting from the failure.

Different maintenance solutions are depicted diagrammatically in figure 4.5 (Reference 1).

Planification de l'entretien

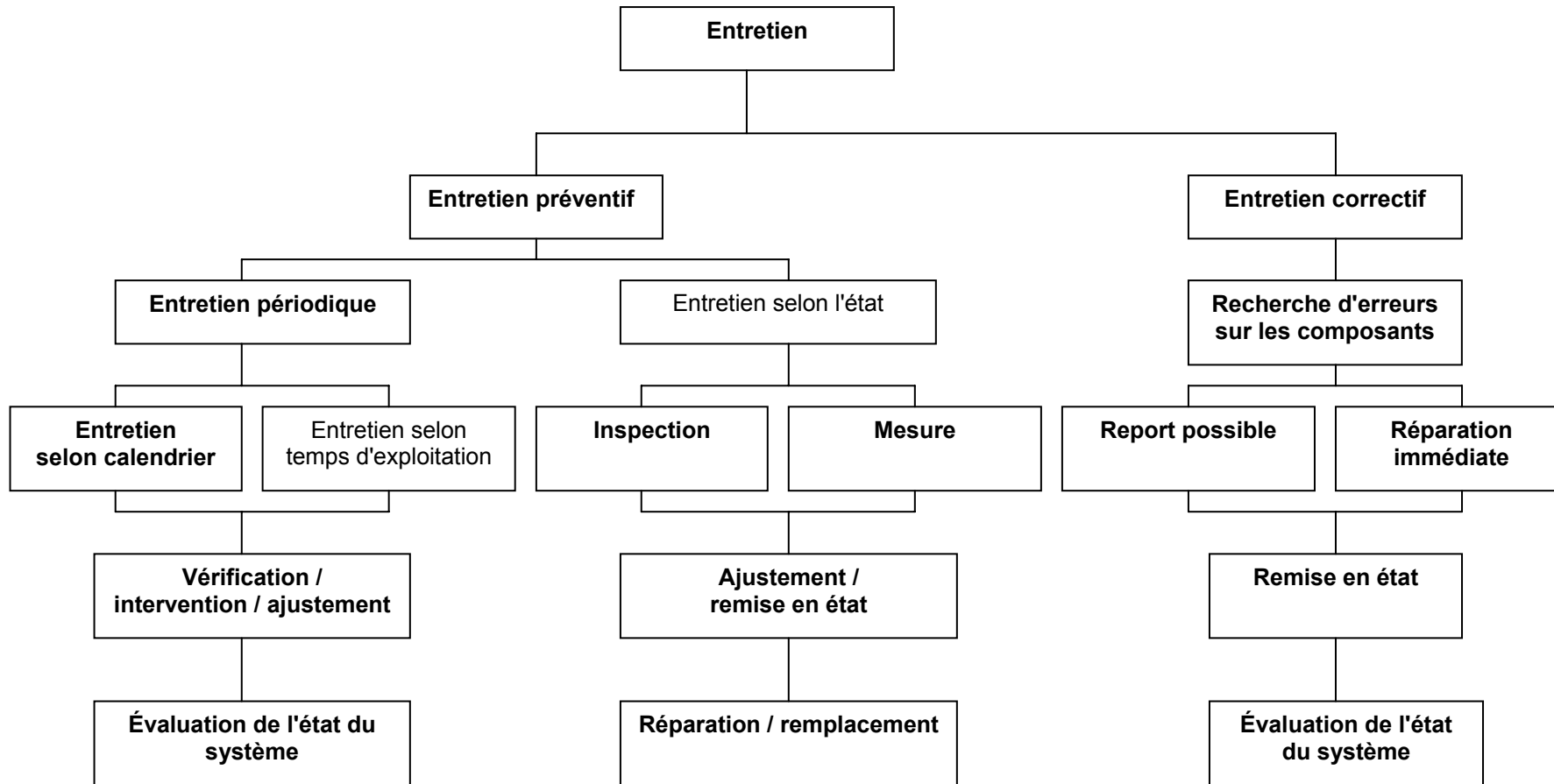


Figure 4.5 - Solutions d'entretien

Planned maintenance

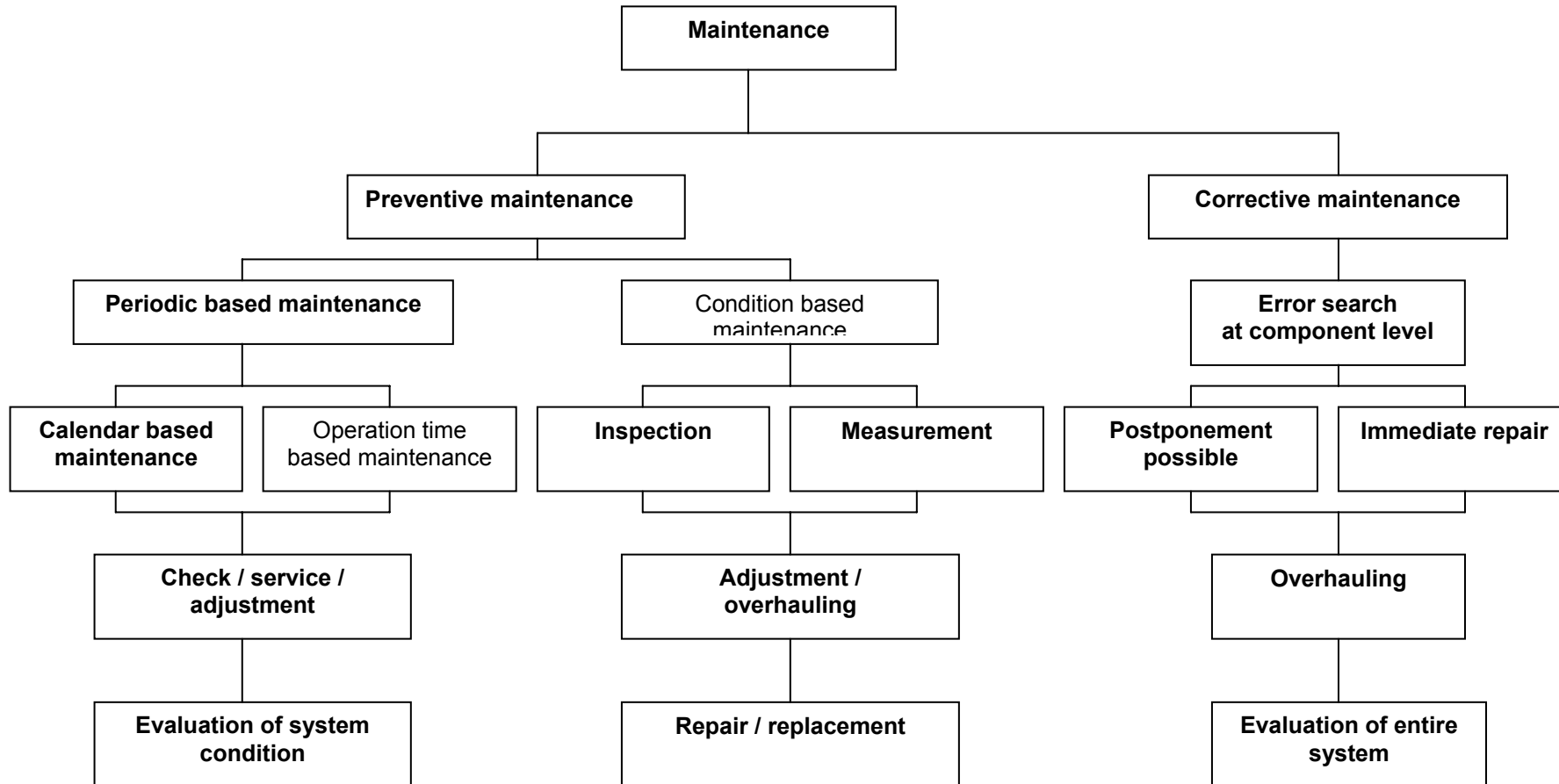


Figure 4.5 - Maintenance solutions

Ce manuel doit également énumérer les réglementations applicables aux travaux d'entretien, dans les conditions suivantes :

- pendant les horaires du trafic poids lourds,
- en cas de gêne occasionnée aux tiers (bruit nocturne, fumées et poussières...),
- en cas de travaux de nuit,
- en cas de régulation du trafic,
- etc.

(vi) Manuel des équipements et pièces détachées

Ce manuel donne les informations nécessaires pour commander de nouveaux équipements ou pièces détachées (coordonnées des fournisseurs et des fabricants, descriptions et numéros d'identification des équipements et des pièces détachées...) et indique les emplacements où les pièces sont stockées, une fois achetées. Il peut également apporter des précisions sur les modalités de remplacement des pièces, leur durée de vie prévue, etc. C'est aux différents utilisateurs de faire figurer les informations qui leur semblent pertinentes.

IV.5.3. Outils de gestion

Il est possible d'élaborer des outils d'aide à la gestion du tunnel en croisant les informations des différents manuels. Par exemple :

- le système d'appel d'urgence et le plan d'urgence peuvent être liés de telle sorte que, si une borne d'appel d'urgence est utilisée, le système informatique affiche automatiquement le plan d'urgence élaboré pour ce tunnel sur les écrans de l'exploitant, dans le poste de contrôle (PC) ;
- si une alarme spécifique est déclenchée par un des équipements, les numéros de téléphone d'urgence, indiqués dans le manuel d'inventaire ou d'entretien, peuvent s'afficher ;
- les informations combinées des manuels d'inventaire et d'entretien permettent d'émettre des commandes de travaux, des rapports d'achèvement des travaux, etc.

IV.6. Intervalles d'entretien

L'étude des historiques constitue une part très importante de l'optimisation de l'entretien. Elle doit être réalisée par l'organisme chargé de l'entretien. Le responsable de l'entretien évalue les résultats à intervalles réguliers afin de vérifier que la maintenance effectuée sur chaque composant n'est ni insuffisante ni excessive. Cette évaluation permet de déterminer si la pièce doit être entretenue, remplacée ou maintenue en service jusqu'à défaillance. Remarquons toutefois que pendant la période de garantie, les intervalles fixés par le fabricant ne doivent pas être modifiés, à peine de nullité de la garantie.

The manual must also list the regulations that apply to maintenance work including, for instance:

- during hours with heavy traffic;
- if nuisance is caused to others (e.g. acceptable noise levels during the night hours, smoke and dust regulations, etc.);
- night time work;
- traffic regulations;
- etc.

(vi) Equipment and spare parts manual

This manual gives the information necessary to order new identical equipment or spare parts (e.g. supplier / producer with contact details, equipment / spare part descriptions and identifying codes, etc.), or the location at which these spares are stored if already acquired. It may also have details of how these spare parts are to be changed, their life cycle, etc. It is up to the different users what they put in the various manuals.

IV.5.3. Management tools

By means of cross-referencing between the manuals it is possible to generate tunnel management aids. For instance:

- the emergency telephone system and the emergency plan can be linked such that when an emergency phone is used, the computer system can automatically bring up the emergency plan for that tunnel on the operator screen display in the Traffic Operation Centre (TOC);
- if a specific alarm is activated by an item of technical equipment, the relevant phone numbers can be displayed from the inventory or maintenance system;
- combined information from the inventory and the maintenance manuals can produce work orders and reports of work completed, etc.

IV.6. Maintenance intervals

A very important part of the maintenance optimisation is the evaluation of historical information. This evaluation should be carried out by the maintenance organisation. The maintenance manager should evaluate the results at regular intervals to determine if too much or too little maintenance is being carried out on each maintained component. This evaluation should determine if the part is to be maintained, replaced or kept in operation until it fails. Note, however, that in the guarantee period the intervals set by the manufacturer have to be adopted to avoid nullifying the guarantee.

IV.7. Travaux d'entretien : gênes et coûts supplémentaires

Les travaux d'entretien dans un tunnel ont des conséquences sur la circulation : ils occasionnent une gêne aux usagers et réduisent le nombre de véhicules empruntant le tunnel. Les perturbations de la circulation dépendent du type de travaux entrepris et des modalités de déviation du trafic.

Les effets des perturbations du trafic peuvent être atténués par l'utilisation de méthodes de travail appropriées. Toutefois, les efforts supplémentaires pour réduire les encombrements augmentent généralement les coûts des travaux. La méthode optimale est d'établir un équilibre entre les ressources financières, les solutions techniques et les coûts supplémentaires imposés aux usagers.

Un SGT peut aider l'exploitant à commander ou à engager des opérations d'entretien pour les travaux prévus si une décision de fermeture du tunnel est prise pour une autre raison. Cette solution permet de réduire le nombre total de fermetures du tunnel sur une longue période.

Une méthode d'estimation des coûts d'autres modalités d'entretien, indiquant le temps perdu pour l'utilisateur et autres coûts connexes, doit être décrite dans le manuel d'entretien (ou dans le manuel de gestion). Un exemple de cette méthode figure en annexe C du présent rapport. Les coûts des accidents supplémentaires et des effets négatifs sur l'environnement ne sont pas inclus dans cet exemple. Si le modèle est saisi dans un tableur, il peut constituer un des outils de gestion décrits plus haut.

IV.8. Système d'entretien du tunnel

Un système informatisé d'entretien d'un tunnel est similaire à celui d'une usine, d'un bâtiment ou d'un avion. Il est aussi détaillé et complexe que l'application l'exige et que l'exploitant le juge nécessaire. L'annexe F décrit les différentes sections dont peut être composé ce système. Remarquons que les organismes intéressés ne sont pas obligés d'élaborer un tel système et qu'il peut être plus rentable pour eux d'acheter un progiciel et de le configurer selon leurs propres nécessités. Ainsi, les écrans de l'exploitant peuvent être configurés pour correspondre à la réalité du tunnel concerné, afin d'aider le personnel d'entretien à utiliser le système au mieux de ses capacités.

Les tunnels modernes en zone urbaine ou sur routes à forte circulation disposent de nombreux systèmes dont les composants sont essentiels à la fiabilité de l'exploitation. Il existe donc un lien étroit entre une procédure d'entretien bien élaborée et une exploitation fiable. Un système informatisé est le moyen le plus efficace pour répondre aux besoins des personnes chargées de l'entretien et de la sécurité de ces tunnels.

En effet, il aide à la tenue des registres des différents systèmes et composants et à l'établissement d'un calendrier des opérations d'inspection et d'entretien par l'émission des ordres de travaux. L'agent de maintenance effectue les opérations demandées. Lorsque ces dernières sont achevées, il signe les bordereaux, fait les remarques pertinentes et donne son évaluation de l'état des équipements.

Les bordereaux sont renvoyés et les données sont saisies et enregistrées dans le programme d'entretien. L'ordinateur utilise sa base de données sur les intervalles d'entretien pour surveiller chaque système et ses composants. Les données peuvent également être enregistrées en fonction de leur date, à des fins de statistiques (par exemple, durées de fonctionnement des ventilateurs et pompes).

IV.7. Maintenance work – a nuisance to the traffic – extra cost

Maintenance work in a tunnel will influence the free flow of traffic and thus be a problem to the public and reduce the volume of traffic using the tunnel. Traffic disruption will depend on the type of maintenance work being undertaken and the options for traffic diversions.

The effects of traffic disruptions can be reduced by the use of appropriate working methods, however, additional efforts to reduce traffic congestion will normally increase the costs of the works. The optimum approach can often be a balance between the financial resources, the technical solutions and the extra cost imposed on the road users.

A TMS can help the operator to call on / initiate maintenance activities for planned works if a decision is made to close a tunnel for other reasons. This can reduce the total number of tunnel closures over a long period.

A method to estimate the costs of alternative maintenance arrangements, including delay to the road users and other related costs should be included in the maintenance manual (or in the administration manual). An example of such a method is included in Appendix C of this report. The cost of additional accidents and negative influence on the environment is not included in the example. If the model is entered into a computer based worksheet it would be one of the management aids described above.

IV.8. Tunnel maintenance system

A data based maintenance system for tunnels is similar to that for any factory, building or aircraft. It is as detailed and complex as the application requires and the operator considers necessary. Appendix F describes the different sections that such a system might contain. It should be noted that it is not necessary for organisations to develop such a system, and may be more cost effective to purchase a software package and configure it to their individual requirements. For example the operator screens could be configured to reflect the actual tunnel to assist the maintenance personnel to more fully utilise the system.

Modern tunnels in urban areas, or on roads with heavy traffic, have a number of technical systems with components that are critical to the safe operation of the tunnel. There is, therefore, a close link between safe operation and a well developed maintenance process. A data based system is the most efficient method of meeting the needs of those responsible for the maintenance and safety of such tunnels.

Such a system helps to assist record keeping for the different systems and components and the requirement for inspection and maintenance at different times by printing out work orders. The maintenance operator implements these work orders. When the work is done he signs the form and makes necessary notes on observations and his evaluation of the current status of equipment.

These forms are returned and the record is entered into the maintenance program and stored there. The computer uses its database of maintenance intervals to monitor each system and component. The record may also be logged against time such that statistics can be generated (e.g. the running times of fans and pumps).

Lorsqu'une opération d'inspection ou d'entretien doit être effectuée, l'ordinateur imprime l'ordre de travaux qui servira pendant la réalisation et jusqu'à la fin de l'intervention. L'ordinateur peut ainsi enregistrer tous les historiques des opérations si la procédure est correctement suivie et que toutes les données sont saisies après réalisation de chaque opération d'inspection et d'entretien. Ces historiques constituent des informations utiles pour les constructeurs et les concepteurs. Très souvent, des équipements, systèmes ou composants standard peuvent s'avérer inappropriés pour un tunnel. Il se peut aussi qu'ils ne soient pas adaptés à un usage en tunnel en raison de l'environnement très agressif et des forces très importantes, exercées par les ondes de choc au passage de véhicules volumineux dans le tunnel. Ces équipements doivent donc être adaptés à un usage en tunnel ; une base de données historique, relative à l'entretien et au remplacement des composants, permettra de documenter cette question.

When an inspection or maintenance activity is due the computer prints out new work orders for processing as the work activity proceeds and is completed. The computer can store records of all historic data if this process is properly completed and all records are entered after completion of each maintenance operation and inspection. This historical data is useful feedback to constructors and designers. Very often standard equipment, systems or components might prove to be unsuitable for a tunnel application. They may not also be suitable for use in tunnels because of the very aggressive environment and very high forces caused by pressure waves when large vehicles pass through the tunnel. Such equipment must be adapted for tunnel use, and a historical database of maintenance and change of components will help to document this.