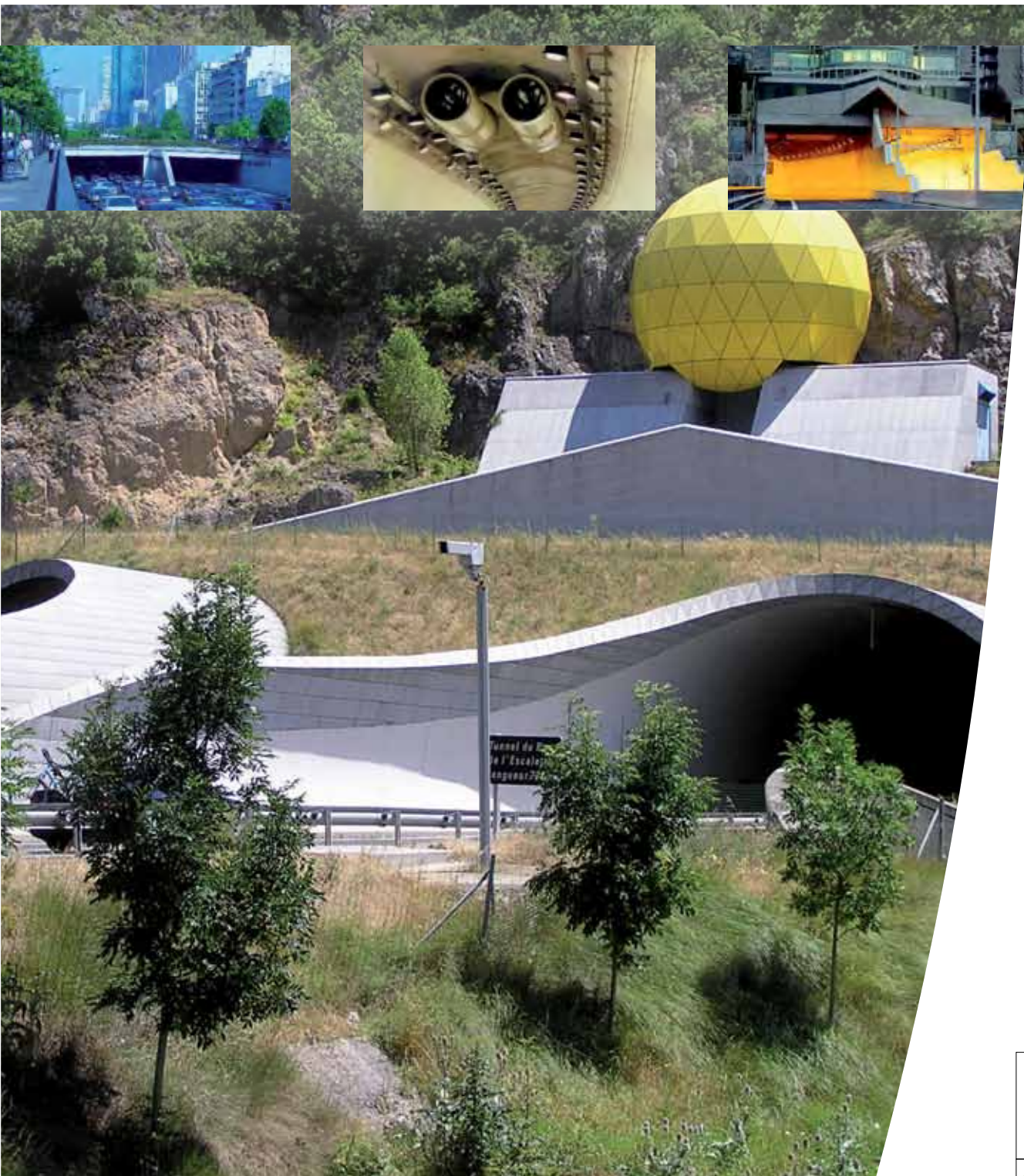


Guide d'application de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

Fascicule 40 : Tunnels

Génie civil et équipements



Guide d'application de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

Fascicule 40 : Tunnels

Génie civil et équipements



Ont participé à l'élaboration de ce guide d'application :

- Jean-Claude Bastet, LR Aix-en-Provence
- Christian Choquet, CETU
- Jean-Claude Daumarie, SNCF
- Jean-François Douroux, RATP
- Bruno Godart, LCPC/DTOA
- Jean-Claude Hahn, MISOA
- Évelyne Humbert, CGPC/S5
- Jean-Michel Lacombe, Sétra/CTOA
- Gilles Lacoste, Sétra/CTOA
- Jean-Claude Martin, CETU
- Claude Moret, CETU
- Bernard Plu, SNCF
- Guy Rivallain, SNCF
- Vincent Robert, CETU
- Jean-Marie Rogez, RATP
- Jean-Christophe Schlegel, DIT
- François Spataro, CETU

Sommaire

Avant-propos	9
Liste des sigles et abréviations utilisés	11
1 - Champ d'application du présent fascicule	13
1.1 - Ouvrages concernés	13
1.2 - Spécificités des tunnels	13
1.2.1 - Une succession d'ouvrages sous une apparence linéaire et continue	13
1.2.2 - L'importance des équipements nécessaires à l'exploitation et à la sécurité	14
1.2.3 - Des contraintes liées aux conditions d'intervention	14
1.3 - Les spécialistes à faire intervenir	15
2 - Les actions à mener par le maître d'ouvrage	17
2.1 - Organisation interne du maître d'ouvrage gestionnaire	17
2.1.1 - Le niveau décisionnel	17
2.1.2 - Le niveau organisationnel	18
2.1.3 - Le niveau opérationnel	18
2.2 - Mise en gestion	19
2.2.1 - Appropriation des données à fournir par le maître d'ouvrage constructeur	19
2.2.2 - Marquage et découpage d'un tunnel	19
2.2.3 - Zonage d'un tube	20
2.2.4 - Formalisation de la surveillance, de l'entretien et de la maintenance	20
2.3 - Surveillance et entretien du Génie Civil	21
2.3.1 - Surveillance continue	21
2.3.2 - Actions périodiques de surveillance	22
2.3.2.1 - Contrôle annuel	22
2.3.2.2 - Inspection détaillée périodique	22
2.3.3 - Actions liées à des événements particuliers de la vie de l'ouvrage	23
2.3.3.1 - Visite particulière de fin de garantie contractuelle ou de responsabilité	23
2.3.3.2 - Auscultation, surveillance renforcée et haute surveillance	23
2.3.4 - Évaluation et cotation de l'état du génie civil	24
2.3.5 - Entretien	24
2.3.5.1 - Formalisation du programme d'entretien	24
2.3.5.2 - Réalisation et compte-rendu	24

2.3.6 - Réparations	25
2.3.6.1 - Le diagnostic	25
2.3.6.2 - Le programme des exigences du maître d'ouvrage et les études préliminaires	25
2.3.6.3 - Projet de réparation	26
2.3.6.4 - Travaux	26
2.3.6.5 - Remise en service de l'ouvrage	27
2.4 - Maintenance, contrôle et renouvellement des équipements	27
2.4.1 - Contexte	27
2.4.2 - Maintenance	28
2.4.3 - Contrôles	30
2.4.4 - Évaluation des équipements	32
2.4.5 - Renouvellement	32
2.4.6 - Synthèse	33
2.5 - Évaluation de la politique globale de gestion du patrimoine	34
2.6 - Contraintes d'exploitation	34
3 - Dispositions spécifiques au génie civil des tunnels creusés	35
3.1 - Structures concernées	35
3.2 - Notions sur les causes et la nature des désordres	36
3.2.1 - Les causes	36
3.2.1.1 - Environnement	36
3.2.1.2 - Construction du tunnel	37
3.2.1.3 - Vie de l'ouvrage	38
3.2.2 - Manifestation des désordres	38
3.2.3 - Des désordres à la pathologie	40
3.3 Surveillance du génie civil	40
3.3.1 - La surveillance continue	40
3.3.2 - Le contrôle annuel	40
3.3.3 - Inspections détaillées initiales, périodiques et exceptionnelles	41
3.3.4 - Évaluation et cotation de l'état du génie civil	42
3.3.5 - Actions complémentaires de surveillance et de diagnostic	43
3.4 Entretien et réparations	45
3.4.1 - Entretien courant	45
3.4.2 - Entretien spécialisé	45
3.4.3 - Réparation et amélioration	46

4 - Dispositions spécifiques au génie civil des tranchées couvertes	49
4.1 - Ouvrages et parties d'ouvrages concernés	49
4.2 - Parties constitutives du génie civil d'une tranchée couverte	50
4.2.1 - La structure	50
4.2.2 - Les équipements de génie civil	50
4.2.3 - Les ouvrages annexes	50
4.3 Notions sur les causes et la nature des désordres	51
4.3.1 - Les causes	51
4.3.1.1 - Environnement	51
4.3.1.2 - Construction d'une tranchée	51
4.3.1.3 - Vie de l'ouvrage	51
4.3.2 - Manifestations des désordres	52
4.4 - Surveillance	52
4.4.1 - La surveillance continue	52
4.4.2 - Le contrôle annuel	52
4.4.3 - Inspections détaillées initiales, périodiques et exceptionnelles	53
4.4.4 - Évaluation et cotation de l'état du génie civil	55
4.4.5 - Actions complémentaires de surveillance et de diagnostic	55
4.5 Entretien et réparations	55
4.5.1 - Entretien courant	55
4.5.2 - Entretien spécialisé	56
4.5.3 - Réparation et amélioration	56
5 - Dispositions spécifiques aux équipements	57
5.1 - Les équipements concernés	57
5.2 - Maintenance des équipements	58
5.2.1 - Entretien courant	58
5.2.2 - Essais/vérifications	59
5.2.3 - Interventions programmées	59
5.2.4 - Dépannage	59
5.3 - Les contrôles	60
5.3.1 - Contrôles réglementaires spécifiques à certains équipements	60
5.3.2 - Séquences particulières de sécurité	60
5.3.3 - Inspections périodiques	60
5.3.3.1 - Actions à conduire lors de l'inspection détaillée initiale (IDI)	61
5.3.3.2 - Actions à conduire lors d'une inspection détaillée périodique (IDP)	61
5.3.4 - Évaluation des équipements	62

5.4 - Renouvellement des équipements	62
5.4.1 - Durées de vie type	62
5.4.2 - Corrections apportées en fonction des spécificités du tunnel	64
Bibliographie	65
Annexes	67

Avant-propos

La nouvelle Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA) a été rédigée à l'attention des services de l'Etat assurant la maîtrise d'ouvrage gestionnaire.

Elle annule et remplace l'ITSEOA du 19 octobre 1979 modifiée le 26 décembre 1995.

Elle est constituée du fascicule 0 : « Dispositions générales applicables à tous les ouvrages » et des fascicules d'application suivants qui lui sont annexés :

- le fascicule 1 : « Dossier d'ouvrage »
- le fascicule 2 : « Généralités sur la surveillance »
- le fascicule 3 : « Auscultation, surveillance renforcée, haute surveillance, mesures de sécurité immédiates ou de sauvegarde ».

Les autres fascicules qui constituaient la seconde partie de l'ITSEOA de 1979 ne font plus partie intégrante de la nouvelle instruction et ont désormais le statut de guides d'application.

Le présent fascicule 40 présente les dispositions particulières pour la surveillance et l'entretien des tunnels creusés, tranchées couvertes et ouvrages routiers similaires. Il est destiné aux maîtres d'ouvrage en charge de l'exploitation, de l'entretien et de la gestion du réseau routier national non concédé (RRN-NC) mais peut servir de référence à tout maître d'ouvrage en charge d'une structure du même type.

Ce fascicule aborde tour à tour deux domaines : le génie civil et les équipements d'exploitation et de sécurité (désignés ensuite par le terme simplifié d'équipements). Si, pour le domaine des équipements, les dispositions prévues s'appliquent à tous les ouvrages (chapitre 5 « Dispositions spécifiques aux équipements »), une distinction est faite pour les opérations de surveillance et d'entretien concernant, d'une part, le génie civil des tunnels creusés (chapitre 3 « Dispositions spécifiques au génie civil des tunnels creusés ») et, d'autre part, celui des tranchées couvertes (chapitre 4 « Dispositions spécifiques au génie civil des tranchées couvertes »).

Il est rappelé que le terme de surveillance dont il est question ici, se rapporte aux structures et aux équipements et se distingue de la surveillance de la circulation routière, qui fait l'objet d'autres textes.

Les éléments contenus dans ce fascicule sensibilisent le lecteur aux spécificités relatives à l'inspection, l'entretien et la surveillance des ouvrages (causes et natures des désordres, moyens de reconnaissance et d'auscultation, stabilité pendant les travaux, nature et complexité des équipements). À eux-seuls, ils ne suffisent pas à définir les conditions d'intervention et de réalisation des diagnostics, des surveillances ou des réparations.



Liste des sigles et abréviations utilisés

• AFTES	Association française des tunnels et de l'espace souterrain
• CCAG	Cahier des clauses administratives générales
• CCM	Commission centrale des marchés
• CCTP	Cahier de clauses techniques particulières
• CO	Monoxyde de carbone
• CETE	Centre d'études techniques de l'Équipement
• CETU	Centre d'études des tunnels
• CNESOR	Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers
• DAI	Détection automatique d'incident
• DCE	Dossier de consultation des entreprises
• DIUO	Dossier des interventions ultérieures sur l'ouvrage
• EPI	Équipement de protection individuel
• GTC	Gestion technique centralisée
• ID	Inspection détaillée
• IDE	Inspection détaillée exceptionnelle
• IDI	Inspection détaillée initiale
• IDP	Inspection détaillée périodique
• IGOA	Inspecteur général des ouvrages d'art
• IQOA	Image de la qualité des ouvrages d'art
• ITSEOA	Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art
• LCPC	Laboratoire central des Ponts et Chaussées
• MOc	Maître d'ouvrage des travaux de construction ou de réparation
• MOec	Maître d'œuvre des travaux de construction ou de réparation
• O. Ext	Organisme extérieur
• PAQ	Plan d'assurance qualité
• PEMP	Plates-formes élévatrices mobiles de personnes
• PGCSPS	Plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé
• PM	Point métrique
• PPSPS	Plan particulier en matière de sécurité et de protection de la santé
• PR	Point Repère
• RC	Règlement de consultation
• RST	Réseau scientifique et technique (du Ministère)
• S.D.	Service décisionnel (gestionnaire de l'ouvrage)
• Sétra	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
• S.Or	Service organisationnel (gestionnaire de l'ouvrage)
• S.Op	Service opérationnel (gestionnaire de l'ouvrage)
• SOPAQ	Schéma organisationnel du plan d'assurance qualité
• TOS	Tunnels et ouvrages souterrains (revue de l'AFTES)



1 - Champ d'application du présent fascicule

1.1 - Ouvrages concernés

Les dispositions du présent fascicule sont applicables à tous les types de tunnels routiers et d'ouvrages qui peuvent leur être assimilés, quelle que soit leur longueur. Au sens du code de la voirie routière, un tunnel désigne toute route ou chaussée située sous un ouvrage de couverture qui, quel que soit son mode de construction, crée un espace confiné. Une section de route ou de chaussée située sous un ouvrage de couverture n'est pas un espace confiné dès lors que l'ouvrage de couverture comporte des ouvertures vers l'extérieur dont la surface est égale ou supérieure à un mètre carré par voie de circulation et par mètre de chaussée.

En application de cette définition, sont spécifiquement compris dans le champ d'application :

- les tunnels creusés circulés,
- les tranchées couvertes circulées,
- les ouvrages constituant une couverture totale ou partielle de la voie et nécessitant la mise en œuvre d'équipements particuliers pour assurer son exploitation (éclairage, ventilation...),
- l'ensemble des structures annexes strictement nécessaires à l'exploitation ou à la sécurité de l'ouvrage (galerie technique ou de sécurité, station de ventilation...) ou dont le fonctionnement est lié à celui de l'ouvrage (ouvrages de tête...).

Pour les ouvrages particuliers en marge du champ d'application précédemment décrit (tunnels creusés non circulés, tranchées couvertes non circulées, tunnels immergés, couvertures acoustiques hors-sol, paravalanches, galeries pare-blocs...), ce fascicule peut aussi servir de référence pour le maître d'ouvrage gestionnaire, sans toutefois constituer une obligation réglementaire.

Les chapitres spécifiques au génie civil des tunnels creusés et des tranchées couvertes portent sur les structures les plus couramment rencontrées et pour lesquelles sont développées les considérations techniques du document.

Il convient de noter que ce fascicule traite également des ouvrages de types tranchées couvertes portant des passages supérieurs. En cas de maîtrise d'ouvrage partagée entre la voie franchie et les espaces portés, il est essentiel de s'assurer, par le biais d'une convention, de la répartition des charges et responsabilités liées à la surveillance et l'entretien de l'ouvrage en vue d'en garantir l'effectivité. Il n'est question, dans ce fascicule, que de la partie intéressant le fonctionnement de l'ouvrage pour l'exploitation de la voie franchie et la sécurité de ses usagers.

Comme cela est détaillé par la suite, il est précisé que le maître d'ouvrage gestionnaire a la responsabilité de distinguer l'ensemble des structures intéressant le fonctionnement de l'ouvrage principal, de spécifier pour chacune d'elles une politique de surveillance et d'entretien basée sur les textes de référence propres à ces structures et cohérente avec les dispositions présentées dans ce fascicule.

1.2 - Spécificités des tunnels

Parmi les ouvrages d'art présents sur le réseau routier, les tunnels se singularisent par des spécificités qui impactent les conditions de leur surveillance et de leur entretien. Nous listons ici les principales spécificités qui ont été prises en compte pour la rédaction de ce guide.

1.2.1 - Une succession d'ouvrages sous une apparence linéaire et continue

Pour l'utilisateur qui circule dans un tunnel routier, l'impression générale est la continuité d'un ouvrage linéaire et confiné s'étendant sur des distances parfois importantes (de quelques mètres à plusieurs kilomètres).

En revanche, pour le maître d'ouvrage gestionnaire qui a la charge de la surveillance et l'entretien de ce même tunnel, celui-ci se caractérise par la multiplicité et la diversité des ouvrages et parties d'ouvrages qui le composent sous l'influence :

- de leur terrain encaissant (alternance de couches géologiques...) ou de leurs couvertures (divers aménagements de surface...),
- de leur mode de construction (tunnels creusés, tranchées couvertes...),
- de leur finalité (ouvrages annexes de ventilation ou d'évacuation, dispositifs d'éclairage...).

Cette diversité accroît la complexité de définition et d'organisation de la méthodologie de surveillance et d'entretien, notamment au travers de l'importance que représentent le repérage et la connaissance de chaque ouvrage et partie d'ouvrage.

1.2.2 - L'importance des équipements nécessaires à l'exploitation et à la sécurité

Les équipements nécessaires à l'exploitation et à la sécurité recouvrent une grande variété de dispositifs allant des équipements lourds de type électromécanique (ventilation, postes électriques...) aux équipements d'exploitation beaucoup plus sophistiqués (vidéosurveillance, retransmission des radiocommunications...). Pour fixer des ordres de grandeur, il est courant de dire que les équipements représentent 15% du coût de l'ouvrage mais 85% des soucis de l'exploitant.

Les préoccupations relatives aux équipements sont très proches du génie industriel et l'échelle de temps attachée à leur durée de vie est, pour certains, inférieure à la décennie. De fait, toutes les actions à mettre en œuvre pour qu'ils assurent leurs fonctionnalités relèvent d'une démarche de maintenance continue.

Les équipements participent pour une part importante à la sécurité et doivent, pour cette raison, faire l'objet de soins très attentifs et continus. Certains aspects sont à surveiller particulièrement comme les interfaces entre systèmes et les capteurs qui conditionnent le fonctionnement automatique de certains ensembles (la disponibilité de certains systèmes dépend parfois de l'état d'un élément mineur : luminancemètre pour l'éclairage, disjoncteur d'alimentation des automates pour la gestion technique centralisée...).

Certains équipements peuvent être installés dans des locaux proches du tunnel mais accessibles sans emprunter l'ouvrage ; d'autres doivent par nature être installés dans l'espace accessible à l'usager : en piédroits, au-dessus des trottoirs ou au-dessus de la chaussée. Ces différentes

implantations rendent plus difficile la réalisation des tâches d'entretien lorsqu'elles interviennent en présence du trafic et posent des problèmes de sécurité pour les usagers et les divers intervenants.

En outre, les matériels mis en œuvre dans le tunnel proprement dit subissent la pollution due au passage des véhicules. Celle-ci peut se manifester sous forme de gaz, d'aérosols et de particules. Ces polluants provoquent, dans certains cas, une altération importante des matériaux. Les dégradations qui peuvent alors se manifester concernent la sécurité immédiate - c'est le cas où un équipement peut chuter sur l'espace réservé à la circulation et causer un accident -, et la sécurité indirecte, du fait de la perte de fonctionnalités conduisant à une exploitation dégradée.

Ensuite, il faut souligner que la très grande diversité des équipements conduit à avoir un nombre de constructeurs important ; chacun d'entre eux ayant des prescriptions particulières, les interventions sur un système composé de plusieurs sous-ensembles d'origines différentes peuvent souvent devenir complexes.

Le présent fascicule s'applique à l'ensemble des équipements jusqu'à la gestion technique centralisée, mais non au poste de contrôle lui-même (bâtiments...).

Enfin, à l'interface entre le génie civil et les équipements existe un domaine qu'il ne faut pas oublier dans les actions de surveillance et de maintenance. C'est celui de l'ancrage dans la structure de certains équipements lourds (ventilateurs, panneaux à messages variables), notamment ceux qui sont suspendus au-dessus des voies de circulation.

1.2.3 - Des contraintes liées aux conditions d'intervention

Les contraintes liées aux conditions d'intervention de maintenance, de surveillance et d'entretien sont de plusieurs natures :

- **Sujétions de circulation** : il n'existe pas toujours d'itinéraire de déviation possible. Néanmoins, pour la sécurité des interventions, il est en général nécessaire de fermer temporairement l'ouvrage à la circulation, ce qui demande d'avoir pris un arrêté préfectoral au préalable. Certaines opérations (observations en clé de voûte, mesures de convergence au fil invar, carottage...) demandent une fermeture temporaire mais totale du tube à la circulation. Pour d'autres, moins contraignantes, les interventions peuvent se dérouler sous restriction de circulation en mettant en place une signalisation adéquate. Nous préconisons de limiter cette procédure aux zones et aux périodes à faible trafic.
- **Durées d'intervention** : les longueurs de certains ouvrages imposent des temps d'intervention importants.

- **Sécurité des intervenants** : les interventions en tunnel comportent généralement des dangers supérieurs à ceux des travaux à l'air libre, en raison des niveaux réduits d'éclairage et de la présence de zones d'ombre diminuant la visibilité, du confinement latéral rendant les manœuvres plus délicates, de la pollution et du comportement parfois dangereux des usagers en particulier lors des réductions de la largeur des voies de circulation.

- **Moyens importants** : les observations en voûte ou les interventions sur les équipements suspendus requièrent des matériels adaptés (nacelles, matériels d'acquisition de données à grand rendement...) et un éclairage supplémentaire puissant.

Toutes ces contraintes nécessitent, d'une part, d'être anticipées à la conception même de l'ouvrage et, d'autre part, conduisent à planifier et à optimiser les interventions en tunnel.

1.3 - Les spécialistes à faire intervenir

Compte tenu des spécificités propres aux tunnels décrites dans le chapitre précédent, la mise en œuvre d'une politique cohérente de surveillance et d'entretien nécessite de faire appel à des compétences particulières :

- en génie civil pour chaque structure spécifique (tunnels creusés, tranchées couvertes, couverture phonique, station de ventilation...),
- en gestion et fonctionnement des équipements (électromécanique, électricité...),
- en travaux acrobatiques (par exemple, pour le suivi des zones de têtes inaccessibles avec un matériel courant...).

Le rôle du maître d'ouvrage gestionnaire est de faire appel aux compétences nécessaires à un suivi efficace de chacune des structures, de conduire un travail de synthèse entre les différents contributeurs, d'établir une politique de gestion complète et d'en assurer son application.





2 - Les actions à mener par le maître d'ouvrage

Dans la continuité du chapitre précédent, il s'agit ici de définir les formes des différentes actions de surveillance, d'entretien, de maintenance et de contrôle que les maîtres d'ouvrages gestionnaires doivent assurer dans le cadre de la gestion de leur tunnel.

Ces actions sont présentées par thèmes puis planifiées dans un calendrier général sachant que, dans la suite du présent document, nous parlons :

- **de surveillance et d'entretien pour le génie civil,**
- **de maintenance et de contrôle pour les équipements.**

Il est à noter que l'ordre des termes reflète bien la différence entre la pratique génie civil (on surveille avant de définir la nature de l'entretien à réaliser) et celle propre aux équipements (on maintient et on contrôle ensuite).

En préambule, nous rappelons la distinction entre le maître d'ouvrage « constructeur » et le maître d'ouvrage « gestionnaire » :

- le maître d'ouvrage constructeur a la responsabilité de la phase d'études et de construction de l'ouvrage ; sa mission s'achève à la réception de l'ensemble des ouvrages d'un projet (y compris la levée des réserves) et leur mise en service,
- le maître d'ouvrage gestionnaire assure la gestion et l'exploitation de l'ouvrage à partir du moment de sa mise en service.

Comme cela est détaillé au paragraphe 2.2, il est impératif, pour le bon déroulement des opérations, qu'il existe une concertation étroite entre le maître d'ouvrage constructeur et le futur maître d'ouvrage gestionnaire durant l'ensemble des phases d'études, de travaux et surtout de mise en service.

Enfin, nous rappelons que ce fascicule s'applique aux ouvrages d'un patrimoine et que la première action du maître d'ouvrage gestionnaire est d'en assurer le recensement exhaustif.

2.1 - Organisation interne du maître d'ouvrage gestionnaire

Avant de préciser les actions spécifiques à la surveillance, à l'entretien, à la maintenance et au contrôle d'un tunnel routier, il convient d'évoquer l'organisation générale de la maîtrise d'ouvrage gestionnaire et les niveaux de responsabilités et de compétences requis pour garantir la qualité de ses missions.

Une organisation claire, basée sur une utilisation optimale des compétences humaines, est un préalable nécessaire à la définition et à la mise en œuvre d'une politique de gestion d'un patrimoine de tunnels routiers. Dans ce cadre, il faut garantir de manière systématique la réalisation de chaque intervention de surveillance, d'entretien, de maintenance ou de contrôle par des personnes suffisamment qualifiées et formées pour que les résultats soient conformes aux objectifs fixés.

Dans la suite du fascicule, nous précisons systématiquement les interventions qui nécessitent une compétence particulière, afin que chaque maître d'ouvrage puisse s'organiser en interne ou en faisant appel à des spécialistes extérieurs.

2.1.1 - Le niveau décisionnel

Le niveau décisionnel est constitué par la direction de la maîtrise d'ouvrage gestionnaire. Il est le garant de la politique de gestion de son patrimoine, ce qui le conduit à :

- décliner la politique définie dans l'ITSEOA, en tenant compte des contraintes liées à l'exploitation et prioritairement à la sécurité des personnes ;
- fixer les objectifs et prévoir les moyens humains et financiers nécessaires à leur réalisation en les adaptant à la valeur et l'importance de son patrimoine ;
- prioriser les actions d'entretien et de réparation à partir d'une analyse multicritère ; cette analyse multicritère intégrera, en particulier, les priorités techniques, la logique d'itinéraire, les contraintes d'exploitation, la gêne à l'utilisateur ;

- s'assurer de leur mise en œuvre en mettant en place un contrôle efficace dans le cadre de sa démarche qualité ;
- dans ce même cadre, évaluer les résultats de sa politique au travers d'indicateurs de performance.

Sa démarche qualité doit ainsi permettre de :

- contrôler l'efficacité de la politique de gestion du patrimoine ;
- garantir le niveau de compétence des agents.

Ce niveau sera désigné dans la suite du document par « le service décisionnel ».

2.1.2 - Le niveau organisationnel

Le niveau organisationnel met en œuvre la politique définie par le niveau décisionnel et propose à ce dernier les amendements qu'il juge utile d'apporter. Pour cela :

- il tient à jour l'inventaire du parc d'ouvrages et les éléments caractérisant l'état des ouvrages ;
- il est responsable des dossiers d'ouvrage et de leur tenue à jour ;
- il organise et coordonne l'action des différents intervenants ;
- il programme les actions de surveillance et d'évaluation ;
- il pilote les visites des ouvrages les plus complexes ;
- il exploite les divers rapports liés à ces actions (rapports internes ou rapports de spécialistes) ;
- il analyse les désordres structurels et les défauts d'équipements pour juger de leur gravité et en tirer les conséquences pour les actions d'entretien urgentes, pour les actions techniques, ainsi que pour la sécurité ;
- il définit le programme et pilote les actions d'entretien spécialisé et de réparation ;
- il contrôle la bonne exécution des actions décidées ;
- il capitalise l'expérience acquise pour proposer des conceptions ou des dispositions constructives pour les nouveaux ouvrages, afin de réduire les désordres qu'il constate sur les ouvrages existants ;
- il élabore les propositions de programmation pluriannuelle ;
- il rend compte au niveau décisionnel de l'efficacité de l'organisation, notamment en lui fournissant des bilans ou des synthèses.

Sans être obligatoirement un service spécialisé, il doit posséder les compétences et connaissances suffisantes pour solliciter les spécialistes à bon escient, assurer un suivi efficace de leur prestation et exploiter leur contribution.

Pour ce qui concerne le génie civil, ce niveau requiert des compétences similaires à celles nécessaires à la gestion d'un patrimoine de ponts courants et non courants.

Pour ce qui concerne les équipements, les compétences requises sont nettement plus spécifiques et pourront nécessiter certains recours à une assistance extérieure en respectant les prescriptions données dans le présent document pour ce qui concerne la méthodologie.

Ce niveau sera désigné dans la suite du document par « le service organisationnel ».

2.1.3 - Le niveau opérationnel

Le niveau opérationnel a pour mission d'intervenir sur les ouvrages pour réaliser ou contrôler les opérations de surveillance, d'entretien ou de réparation. Il organise également les mesures relatives à l'exploitation (restriction de circulation, signalisation temporaire, etc.), afin d'en permettre le bon déroulement et assurer la sécurité des personnes.

Il réalise les contrôles annuels, organise ou réalise l'entretien courant et rend compte de ces actions.

Il peut également assurer le suivi de certaines opérations d'entretien spécialisé.

À la suite de circonstances particulières, susceptibles d'avoir endommagé des ouvrages (chocs, crues, séismes...), il peut effectuer ou faire effectuer des visites ou inspections exceptionnelles.

Toutes les interventions pratiquées sur le terrain doivent se traduire par un constat écrit et daté. Ce constat doit faire l'objet d'un suivi ultérieur quand il conduit à prescrire des actions spécifiques. La synthèse de ces interventions et des opérations de surveillance remonte au niveau organisationnel.

Il est nécessaire que tous les agents intervenant à ce niveau aient :

- une bonne connaissance générale de l'ouvrage (repérage des structures et des équipements, principales caractéristiques, historique...), de ses règles de gestion (convention...) et de ses règles de fonctionnement (plan d'intervention et de sécurité, consignes d'exploitation...).
- une bonne connaissance de l'organisation interne de la maîtrise d'ouvrage (circuits décisionnels et d'informations, personnes ressources...) ;
- une bonne appropriation des actions de surveillance, d'entretien, de maintenance et de contrôle qu'ils doivent réaliser ou faire réaliser ;
- une compétence technique de base, renforcée par des formations spécifiques si nécessaire (béton, électricité...).

Ce niveau sera désigné dans la suite du document par « le service opérationnel ».

2.2 - Mise en gestion

Cette première étape de la politique de surveillance et d'entretien du tunnel est à la base de son suivi ultérieur et nécessite de formaliser efficacement les différentes phases décrites ci-après.

Dans la majorité des cas, cette étape coïncide avec la mise en service d'un ouvrage neuf. Toutefois, il peut s'avérer nécessaire d'en réaliser une mise à jour totale ou partielle au cours de la vie d'un ouvrage, par exemple à la suite de travaux de réhabilitation importants ou encore d'un changement de service gestionnaire.

Durant l'ensemble des phases d'études et de travaux précédant la mise en service, la concertation entre le maître d'ouvrage constructeur et le futur maître d'ouvrage gestionnaire est une condition indispensable pour la réalisation d'un ouvrage de qualité et la pérennité de son fonctionnement.

2.2.1 - Appropriation des données à fournir par le maître d'ouvrage constructeur

Le fascicule 1 de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA) précise le contenu du dossier d'ouvrage dont les principales pièces relatives à la conception, la construction et l'état de référence ⁽¹⁾ sont de la responsabilité du maître d'ouvrage constructeur. Parmi ces pièces, certaines sont particulièrement importantes pour la surveillance et l'entretien et sont parfois spécifiques aux tunnels, citons notamment :

Pour le génie civil :

- l'état de référence comprenant notamment l'inspection détaillée initiale,
- le document de synthèse,
- les consignes d'entretien des réseaux de drainage et/ou la notice de visite et d'entretien,
- le dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage,
- les éventuelles conventions de gestion.

Pour les équipements :

- l'état de référence comprenant notamment l'inspection détaillée initiale,
- le document de synthèse,
- les particularités des équipements de l'ouvrage,
- les notices techniques et d'entretien des divers matériels et circuits,
- le plan de maintenance,
- le dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage,
- les éventuelles conventions de gestion,
- les règlements et conventions relatifs aux réseaux des tiers,

- une copie de tous les marchés en cours intégrant une mission de maintenance,
- les contrats passés avec les fournisseurs – conventions ou autorisations de rejet,
- la liste des gestionnaires des réseaux et plans des réseaux,
- le procès verbal de remise au gestionnaire.

Ces pièces nécessitent, très en amont, une implication particulière du futur maître d'ouvrage gestionnaire avec pour objectifs :

- la vérification d'un contenu conforme à ses attentes et aux directives réglementaires,
- l'appropriation de son contenu par ses services,
- la formalisation adéquate pour faciliter leur utilisation ultérieure.

Lors de cette phase, l'Inspection Détaillée Initiale (IDI), pour le génie civil comme pour les équipements, est l'articulation principale entre les deux maîtres d'ouvrage. En ce sens, elle doit être au centre des préoccupations du futur maître d'ouvrage gestionnaire pour exiger du maître d'ouvrage constructeur une réalisation conforme à ses attentes, en favorisant le transfert d'informations.

A cet effet, le maître d'ouvrage constructeur sollicite l'accord du maître d'ouvrage gestionnaire sur le contenu et la forme de l'inspection détaillée initiale (IDI) tout en respectant les préconisations du présent fascicule.

2.2.2 - Marquage et découpage d'un tunnel

Dans la pratique, même si le maître d'ouvrage gestionnaire n'a pas la responsabilité de la réalisation des différentes phases évoquées ci-après, il doit s'impliquer pour obtenir de ses différents interlocuteurs l'exécution correcte de celles-ci.

Avant de travailler sur un tunnel, il est nécessaire d'en identifier les éléments homogènes relevant d'une politique de gestion adaptée.

La première étape consiste en un marquage du tunnel afin de faciliter le repérage du découpage de l'ouvrage par chacun des acteurs de la surveillance et de l'entretien du tunnel. En plus de l'identification « classique » d'un ouvrage d'art par une plaque, un tunnel doit faire l'objet d'un marquage décimétrique par des plaques installées tous les dix mètres permettant de se localiser, sur des linéaires souvent importants, par des points métriques (PM). Le détail du marquage des tunnels routiers est donné en annexe 3.

(1) à différencier de l'état de référence au sens des travaux de mise en sécurité



Figure 1 : Plaque de marquage décimétrique en gaine de ventilation

La seconde étape est un découpage du génie civil en structures homogènes en termes de finalités et d'enjeux. Dans ce cadre, il convient notamment de distinguer :

- le tunnel principal,
- les ouvrages d'accès et de têtes,
- les galeries et autres ouvrages connexes de sécurité ou d'exploitation.

Le tunnel principal est composé d'un ou plusieurs tubes contenant chacun une ou plusieurs voies de circulation. Chaque tube comporte deux extrémités appelées têtes.

Un tronçon est une section homogène de tube en termes de type de structure et de contexte géologique. Il est défini par deux points métriques (PM) localisant son début et sa fin.

Le tunnel peut aussi comporter des galeries qui sont découpées en tronçons sur les mêmes critères que ceux retenus pour les tubes.

Les ouvrages connexes (ouvrages d'accès, ouvrages de sécurité...) influent sur le découpage des tubes, mais n'y sont pas intégrés. Chacun de ces ouvrages peut disposer d'un découpage adapté à sa nature.

Définis à la construction, les tronçons ne varient pas dans le temps, sauf cas exceptionnel comme, par exemple, une réparation lourde.

Ainsi, l'ouvrage est découpé en ouvrages **connexes** et **en tubes**. Les tubes et les galeries sont découpés en **tronçons**. Ce découpage constitue la base de travail pour tous les actes de surveillance et d'entretien.

Cette seconde étape est spécifique à chaque tunnel et à chaque maître d'ouvrage gestionnaire. L'objectif principal est ici de gérer de manière complémentaire l'ensemble des structures pouvant avoir une influence les unes par rapport aux autres. A titre d'exemple, si la surveillance d'un tunnel et d'une paroi clouée ne fait pas forcément appel aux mêmes spécialistes, le service organisationnel

devra tout de même s'attacher à ce que la paroi clouée composant la tête d'un tunnel ne soit pas surveillée de manière indépendante et isolée. En corollaire, si l'évolution de l'une des structures peut influencer l'autre, le service organisationnel devra s'assurer que les modalités de surveillance de chacune d'elles intègrent cette interaction.

Le marquage et le découpage du tunnel sont des actions essentielles de la surveillance et de l'entretien pour ce qui concerne le génie civil. Elles garantissent la mise en place d'un référentiel unique de repérage et d'une base homogène de travail. Leur réalisation est de la responsabilité du maître d'ouvrage constructeur mais nécessite au préalable l'accord du futur maître d'ouvrage gestionnaire.

2.2.3 - Zonage d'un tube

Le zonage du tube est un découpage d'une autre nature. Il découle de la cotation IQOA (Image Qualité des Ouvrages d'Art) et donc des observations faites durant l'inspection de la structure. Une zone est une section de tube définie par deux points métriques (PM) localisant son début et sa fin. Elle caractérise une section homogène au regard de la cotation IQOA. Définies lors de la première inspection par le maître d'ouvrage gestionnaire, les zones peuvent varier dans le temps en fonction de l'évolution des désordres et des observations issues de la surveillance. La modification des zones s'effectue généralement après une inspection détaillée périodique (IDP) mais peut être réalisée entre deux inspections consécutives à l'occasion d'une évaluation au cours du contrôle annuel.

Les zones et les tronçons sont deux subdivisions longitudinales du tube ; on peut passer de l'une à l'autre par le biais des points métriques.

2.2.4 - Formalisation de la surveillance, de l'entretien et de la maintenance

Le présent fascicule définit les contours d'une politique générale de surveillance, d'entretien et de maintenance commune à tous les tunnels routiers. Toutefois, compte tenu des spécificités et de la diversité des tunnels, le maître d'ouvrage doit formaliser et compléter cette politique pour chaque tunnel de son patrimoine. A ce titre, il s'appuie sur les documents du dossier d'ouvrage, notamment ceux cités au paragraphe précédent et sur les recommandations du présent fascicule.

L'objectif de cette formalisation est de spécifier de manière exhaustive :

- les actions de surveillance et d'entretien du génie civil de chaque tronçon et de chaque zone avec leur périodicité,
- les actions de maintenance et de contrôle de chaque type d'équipement avec leur périodicité,
- les acteurs, les moyens, les restrictions de circulation et l'organisation à mettre en œuvre pour chaque mission.

Si chaque maître d'ouvrage gestionnaire doit formaliser la politique de surveillance et d'entretien des tunnels de son patrimoine, il peut toutefois lui donner la forme qu'il souhaite. C'est a priori le service organisationnel qui fournit les éléments relatifs aux deux premiers points et le service opérationnel qui finalise le troisième. L'ensemble des acteurs évalue les possibilités d'optimisation des actions à entreprendre tant au niveau des moyens utilisés que des conditions d'intervention sur site.

Si l'élaboration de la surveillance, de l'entretien et de la maintenance se fait lors de la mise en gestion, c'est également une démarche continue qui doit évoluer en fonction des divers constats qui peuvent être faits au cours de la vie de l'ouvrage.

2.3 - Surveillance et entretien du Génie Civil

Les conditions de sécurité à respecter lors des actions programmées de surveillance et d'entretien, ainsi qu'un cadre pour la rédaction d'un plan de prévention, sont donnés en annexe 1.

Quelques points essentiels méritent de retenir l'attention du maître d'ouvrage gestionnaire pour l'établissement du document de gestion :

- **adaptation d'une périodicité et d'une méthodologie pour chaque élément de la structure du tunnel et chaque équipement de génie civil** : la diversité des éléments de structures ou des équipements de génie civil présents dans un tunnel peut nécessiter la mise en place d'une méthodologie particulière de surveillance ; en ce sens, le présent fascicule indique les périodicités puis explicite les méthodologies relatives aux tunnels courants sans toutefois chercher l'exhaustivité ;
- **définition des contraintes d'exploitation garantissant la sécurité des intervenants et la qualité de leurs observations** : les contraintes d'exploitation ne doivent en aucun cas entraîner une dégradation du niveau de surveillance nécessaire pour garantir la sécurité de l'ouvrage et sa pérennité ; si les méthodologies de surveillance et d'entretien autorisent souvent suffisamment de souplesse pour s'adapter à certaines contraintes d'exploitation, le maître d'ouvrage

gestionnaire doit, dans tous les cas, garantir la sécurité des intervenants et offrir des conditions permettant des observations conformes à la qualité exigée ;

- **planification des interventions** : le programme d'intervention dans l'ouvrage doit concentrer la surveillance et l'entretien du génie civil afin de perturber le moins possible l'exploitation du tunnel ;
- **coordination à assurer en cas de gestion partagée avec d'autres maîtres d'ouvrage** : en cas de gestion conjointe avec d'autres maîtres d'ouvrage, une convention doit définir les modalités de la surveillance et de l'entretien du tunnel ; cette pratique permet de garantir la conformité aux objectifs définis dans ce fascicule.

Un logigramme définissant l'organisation de la surveillance continue et de la surveillance périodique est fourni en annexe 2.

2.3.1 - Surveillance continue

Cette surveillance est destinée à déceler un signe évident de désordre, une évolution manifestement anormale ou les conséquences d'un événement imprévu. Elle s'inscrit dans la surveillance générale du réseau et concerne notamment le patrouillage.

Lorsqu'une anomalie est constatée, il convient de la signaler au service opérationnel afin que des mesures soient prises, en premier lieu pour assurer la sécurité des usagers et des tiers.



Figure 2 : Passage d'une patrouille de surveillance dans un tunnel

Dans le cas particulier d'un tunnel, nous spécifions ci-après le rôle du service opérationnel :

- faire connaître à l'ensemble de son personnel et éventuellement aux sous-traitants les modalités de remontée des informations,
- informer chaque intervenant de son devoir d'alerter,
- former, le cas échéant, les intervenants qui ont un rôle particulier dans ce cadre (notamment sur les points à surveiller mis en exergue dans un rapport d'inspection),

- établir et faire tenir un **relevé permanent d'événements**⁽²⁾ qui constitue une sorte de main-courante concernant le génie civil et les équipements.

Sur le relevé permanent d'événements sont consignées :

- les anomalies constatées,
- les alertes et les suites données,
- les actions effectuées, liées ou non aux anomalies constatées,
- les actions d'entretien.

Si un problème de sécurité est détecté lors de la surveillance continue, le service opérationnel doit le traiter le plus rapidement possible, si nécessaire en sollicitant l'assistance du service organisationnel.

2.3.2 - Actions périodiques de surveillance

2.3.2.1 - Contrôle annuel

Conformément au fascicule 2 de l'ITSEOA, l'objectif du contrôle annuel est de :

- déceler l'évolution manifeste de désordres mentionnés dans les procès-verbaux de visite d'évaluation ou d'inspection détaillée ;
- constater la présence de désordres graves non décelés précédemment, ou de menaces de désordres graves ;
- dresser éventuellement la liste des actions d'entretien courant à réaliser.

Dans le cas spécifique des tunnels, il comprend systématiquement :

- la synthèse des événements survenus depuis le dernier contrôle annuel (issus du relevé permanent d'événements),
- une visite formalisée de l'ensemble des parties d'ouvrages visitables (circulées et non circulées).

Par principe, ces visites sont à réaliser par le service opérationnel et ne nécessitent ni compétences approfondies en génie civil, ni moyens d'accès particuliers. En revanche, elles nécessitent une préparation de la part de l'agent et du service organisationnel. Ce dernier doit notamment fournir à l'agent en charge du contrôle annuel un cadre de procès verbal (PV) de visite précisant pour chaque partie d'ouvrage à visiter :

- les points particuliers à surveiller sur lesquels il doit observer les évolutions potentielles (en se basant sur l'exploitation des rapports d'inspection et sur le contrôle annuel précédent),
- les moyens spécifiques nécessaires à la visite (éclairage, appareil photo...) tels qu'ils sont spécifiés dans les guides d'inspection (« Guide de l'inspection

du génie civil des tunnels routiers » édité par le CETU et le document « Evaluation des ouvrages IQOA tranchées couvertes – Guide d'inspection » édité par le Sétra).

L'agent en charge du contrôle annuel doit :

- prendre connaissance du cadre du PV de visite,
- rechercher dans le dossier d'ouvrage les éléments nécessaires pour établir des comparaisons (plans, photos...),
- préparer le matériel nécessaire.

Il appartient au service opérationnel de s'assurer que les compétences humaines et les moyens disponibles sont compatibles avec les enjeux liés à ce contrôle annuel.

2.3.2.2 - Inspection détaillée périodique

L'inspection détaillée périodique (IDP) constitue le bilan de santé de l'ouvrage.

Le service organisationnel propose chaque année, à la validation du service décisionnel, la liste des ouvrages ou tronçons soumis à IDP suivant une périodicité respectant les préconisations suivantes :

- 1^{ère} IDP 3 ans après l'inspection détaillée initiale (IDI),
- 2^{ème} IDP au plus tard 9 ans après l'achèvement de l'ouvrage (afin que ses conclusions permettent, si nécessaire, d'engager une procédure de recours au titre de la responsabilité décennale),
- IDP successives tous les 6 ans dans le cas général.

Les périodicités peuvent être allongées ou réduites dans les cas particuliers suivants :

- IDP successives tous les 9 ans pour les tronçons robustes,
- IDP successives tous les 3 ans (voire moins) pour les tronçons sensibles pour lesquels on craint l'apparition rapide ou l'évolution de désordres.

Conformément aux indications du chapitre relatif à la mise en gestion, le service organisationnel doit s'assurer que chaque structure est inspectée par un spécialiste compétent suivant une méthodologie adaptée et permettant la complémentarité des analyses.

Le service organisationnel doit informer, au préalable, chaque spécialiste des particularités de la structure à inspecter, en lien avec le fonctionnement global de l'ouvrage, et lui communiquer toutes les informations utiles à la bonne compréhension de l'évolution de l'ouvrage (transmission d'éléments de dossier d'ouvrage, rapports antérieurs, PV de contrôles annuels, synthèses annuelles des relevés permanents d'événements...).

⁽²⁾ à différencier du compte-rendu des incidents et accidents significatifs pour l'exploitation des tunnels de plus de 300 mètres.

Dans cet objectif, il peut être utile de fixer un cadre unique dans lequel chaque spécialiste apporte, sous une forme commune, ses éléments d'analyse pour ainsi faciliter le travail de synthèse à réaliser ensuite par le service organisationnel lors de l'exploitation du rapport d'inspection.

Une inspection détaillée doit être de qualité et exhaustive. Cet objectif nécessite le recours à des spécialistes : les chapitres 3 et 4 détaillent le contenu de l'inspection du génie civil dans le cas courant de tunnels creusés et de tranchées couvertes.

L'inspection détaillée périodique est l'élément central de la surveillance organisée, elle n'en est pas la conclusion pour autant. C'est, pour le maître d'ouvrage gestionnaire, un avis de spécialiste qui lui permet d'orienter l'organisation de sa surveillance, d'adapter les tâches d'entretien courant et spécialisé et, le cas échéant, de lancer une démarche de diagnostic puis de réparation. Dans cet objectif, le rôle du service organisationnel est primordial pour proposer au service décisionnel :

- les modifications de la politique de surveillance et d'entretien de l'ouvrage à faire appliquer par le service opérationnel,
- un programme d'investigation ou de réparations (le cas échéant),
- une proposition de surveillance renforcée ou de haute surveillance (le cas échéant).

2.3.3 - Actions liées à des événements particuliers de la vie de l'ouvrage

2.3.3.1 - Visite particulière de fin de garantie contractuelle ou de responsabilité

Avant l'expiration de chaque délai de garantie ou de responsabilité (garanties contractuelles et particulières au sens du cahier des clauses administratives générales applicables aux marchés publics de travaux (CCAG Travaux) ou responsabilité décennale), le tunnel ou les parties de tunnel concernées font l'objet d'un examen qui prend la forme d'une inspection, dont l'objectif est de vérifier l'état des parties d'ouvrage sous garantie ou sous responsabilité.

Les garanties particulières peuvent concerner notamment la peinture, la protection anti-corrosion, l'étanchéité, les protections phoniques ou thermiques...

L'établissement de la liste de ces examens, comportant la définition précise de leur contenu, d'une part, et leur réalisation, d'autre part, doit être effectué suffisamment tôt pour permettre l'exploitation des rapports de visite avant l'expiration des délais de garantie ou de responsabilité.

2.3.3.2 - Auscultation, surveillance renforcée et haute surveillance

Le maître d'ouvrage gestionnaire a la possibilité de réaliser, ou faire réaliser, une auscultation du tunnel en fonction des conclusions issues des surveillances continue ou organisée, d'échéances particulières (fin de garantie) ou encore pour répondre à des problématiques spécifiques (ouvrage vulnérable vis-à-vis de certains aléas, certaines pathologies ou phénomènes naturels exceptionnels).

Les modalités de mise en œuvre d'une surveillance renforcée ou d'une haute surveillance sont définies dans le fascicule 3 de l'ITSEOA. Ces régimes de surveillance peuvent être appliqués au tunnel dans sa totalité ou seulement à certains tronçons le cas échéant.

En complément des cas prévus au fascicule 3, un ouvrage ou tronçon d'ouvrage peut faire l'objet d'une surveillance renforcée préventive s'il a traversé des terrains susceptibles d'évolution, ou si la structure a fait l'objet d'adaptations liées à des aléas de creusement ou de construction, dont on veut mieux appréhender le comportement.

Un dispositif de surveillance renforcée doit généralement être mis en œuvre pour une durée supérieure à un an en réalisant plusieurs mesures judicieusement espacées durant les premiers temps de façon à avoir une idée des évolutions liées aux variations saisonnières.



Figure 3 : Évolution d'un dispositif de surveillance : extensomètre à base courte (au centre), fissuromètre tridimensionnel manuel (en haut), fissuromètre automatique (en bas) permettant la télésurveillance

Pour assurer une haute surveillance, les dispositifs à mettre en place doivent pouvoir être suivis en temps réel par télétransmission si nécessaire (fissuromètres automatiques, dispositifs de mesures de convergences...). Le service organisationnel doit alors utiliser de manière mesurée, progressive et adaptée les différents moyens à sa disposition, décrits aux chapitres 3 et 4.

En complément à la compétence et à l'expérience de ses propres services, le maître d'ouvrage gestionnaire peut faire appel à des spécialistes tant pour la définition du programme de surveillance particulière que pour sa réalisation et son exploitation.

2.3.4 - Évaluation et cotation de l'état du génie civil

Suivant la même logique que les ouvrages d'art de type pont ou mur, les tunnels routiers font l'objet d'une évaluation de l'état du génie civil.

D'un point de vue général, le tunnel est un ouvrage d'art non courant, complexe, sous l'influence de multiples facteurs (contraintes et structures diverses notamment) et qui nécessite l'avis d'un spécialiste pour juger de l'état des différentes structures. Nous notons également que l'observation et l'appréciation des désordres avec un niveau de précision suffisant nécessitent généralement une méthodologie similaire à celle qui est employée lors des inspections détaillées.

Dans ce cadre, l'évaluation ne fait pas l'objet d'une visite spécifique mais fait partie intégrante du bilan de l'inspection détaillée à l'issue de laquelle le spécialiste propose au service organisationnel une cotation établie selon les critères de la démarche « Image qualité des ouvrages d'art » (IQA). Ce service la vérifie, la modifie le cas échéant et la fait valider par le service décisionnel.

Le maître d'ouvrage gestionnaire a, par conséquent, la responsabilité de l'évaluation de l'état du génie civil du fait :

- de sa perception des enjeux de gêne à l'exploitation et de sécurité,
- de sa connaissance de la vie de l'ouvrage (par exemple, sur les venues d'eau saisonnières).

Entre deux inspections détaillées périodiques, le service organisationnel peut proposer au service décisionnel de modifier les cotations, si cela se justifie, du fait de travaux réalisés (par exemple une cotation IQA 2 d'un réseau de drainage peut être évaluée à 1 après curage) ou suite à une évolution importante constatée lors des contrôles annuels. Si besoin, le service organisationnel peut faire appel à un spécialiste.

2.3.5 - Entretien

La pérennité des structures est conditionnée, pour une bonne partie, par la qualité de l'entretien.

Les chapitres 3 et 4 donnent quelques précisions sur les principales tâches d'entretien à réaliser ou à faire réaliser dans les tunnels courants et distinguent ce qui relève communément de l'entretien courant ou de l'entretien spécialisé. Dans ce paragraphe, sont présentées les principales étapes, de la responsabilité du maître d'ouvrage gestionnaire, qui concourent à garantir la pertinence et la qualité de l'entretien.

2.3.5.1 - Formalisation du programme d'entretien

Dans le cadre d'une formalisation, le service organisationnel doit notamment spécifier :

- les tâches d'entretien à réaliser en régie,
- les tâches d'entretien à sous-traiter à des entreprises spécialisées,
- les périodicités,
- les points d'attention particuliers (objectifs, matériels, intensités, limites, contraintes, risques...).

En corollaire, le service décisionnel assure au service opérationnel les moyens humains, matériels et financiers nécessaires à la réalisation efficace de ce programme.

Enfin, l'entretien est adapté par le service organisationnel en fonction des observations réalisées au cours des divers actes de surveillance. Dans ce cadre, des interventions non programmées peuvent être réalisées suite à l'observation de désordres particuliers nécessitant une intervention urgente (venues d'eau créant une gêne à l'usager, risque de chutes de matériaux sur la chaussée circulée...).

Il est à noter que l'entretien des systèmes de drainage et d'assainissement revêt une importance particulière dans le contexte des tunnels.

2.3.5.2 - Réalisation et compte-rendu

Le service opérationnel, chargé d'appliquer le programme d'entretien, veille à ce que chaque opération fasse l'objet d'un compte-rendu.

Quelles que soient l'organisation et la nature des interventions, qu'elles fassent appel à des intervenants extérieurs ou pas, chacune d'elles doit faire l'objet d'un compte-rendu.

Ce compte-rendu d'intervention permet au service opérationnel, en lien avec le service organisationnel, de s'assurer d'une réalisation conforme au programme établi, dans l'objectif double de pouvoir adapter celui-ci en cas de dysfonctionnement (par exemple, resserrer

la périodicité d'un curage de drain si celui-ci s'engorge plus rapidement que prévu) et de s'assurer de la bonne application et de l'efficacité du programme suivi.

Le compte-rendu comprend systématiquement :

- l'identification de l'ouvrage,
- l'identification du tronçon ou de la zone,
- la date de l'intervention,
- la nature de l'intervention,
- les conséquences éventuelles.

L'intervention est consignée dans le relevé permanent d'événements.

2.3.6 - Réparations

Les réparations visent à remédier à des désordres susceptibles de mettre en cause la pérennité, le niveau de service ou la sécurité de l'ouvrage.

Elles peuvent être coordonnées avec des travaux de correction du défaut d'origine ou d'amélioration du tunnel (élargissement, augmentation de gabarit, étanchement, modification du drainage...).

Par ailleurs, lors des études d'amélioration ou de mise en sécurité, le maître d'ouvrage gestionnaire doit informer les services chargés de ces études des besoins en réparation de son ouvrage pour permettre, le cas échéant, leur prise en compte dans un projet global.

En règle générale, toutes les interventions nécessaires à la remise en état d'un tronçon ou d'une zone sont à réaliser en même temps ; ainsi, à l'occasion d'une réparation, il est souhaitable de réaliser les actions d'entretien spécialisé.

Dans tous les cas, l'étude et les travaux de réparation d'un tunnel s'effectuent en différentes étapes successives. Elles comprennent :

- le diagnostic,
- la définition du programme des exigences et les études préliminaires,
- le projet de réparation,
- les travaux,
- la remise en service de l'ouvrage.

Le logigramme de l'ensemble d'une démarche de réparation, du diagnostic à la remise en service, est donné en annexe 5.

2.3.6.1 - Le diagnostic

Le service organisationnel, ou le spécialiste dûment mandaté, doit prendre connaissance du dossier d'ouvrage et rassembler tous les éléments d'information nécessaires pour élaborer le diagnostic de l'ouvrage ausculté.

Après la synthèse des informations disponibles, on distingue habituellement quatre parties :

- origine et causes des désordres,
- évolutions à attendre,
- degré d'urgence des travaux,
- types et ampleur des travaux à entreprendre.

Toute réparation doit être précédée d'une inspection détaillée et d'une étude approfondie de l'ouvrage. Cette étude doit comprendre une analyse de toutes les données disponibles sur le tunnel, avant de procéder à d'éventuelles reconnaissances plus précises.

Dans certains cas, pour affiner le diagnostic et si la réparation peut être différée, il peut être utile de mettre l'ouvrage sous surveillance renforcée.

2.3.6.2 - Le programme des exigences du maître d'ouvrage et les études préliminaires

Au stade de l'étude préliminaire, il est important d'identifier l'ensemble des besoins à satisfaire pour la réparation du tunnel. À cet effet, une première étape, préalable à la conception du projet, doit viser à préparer les éléments permettant d'établir un programme complet des exigences du maître d'ouvrage (voir la recommandation T1-94 de la CCM aux maîtres d'ouvrages publics pour l'établissement de programmes exigeantiel dans le domaine du génie civil).

Dans ce cadre, le service organisationnel propose un programme exigeantiel que le service décisionnel valide pour servir de base à l'étude préliminaire.

L'étude préliminaire doit s'attacher à un examen de l'ensemble des solutions techniques envisageables ; elle peut comprendre en outre une analyse multicritère. Elle propose une ou plusieurs solutions au choix du maître d'ouvrage.

L'étude préliminaire met en évidence tous les éléments qui sont nécessaires aux études détaillées (levés géométriques, investigations particulières, contraintes administratives). Des essais de validation peuvent aussi faire partie de l'étude, permettant de tester les techniques envisagées.

Compte tenu des spécificités des tunnels, il faut privilégier la réalisation des travaux hors circulation. En effet, la réalisation de travaux dans un tunnel sous trafic est toujours difficile, coûteuse et allonge fortement les délais, même en circulation alternée ou avec une limitation de gabarit. Par conséquent, une recherche de déviations possibles de la circulation pendant les travaux doit être menée simultanément.

A l'issue de cette phase, le service décisionnel retient la solution technique adaptée en lien avec les éventuels contacts extérieurs imposés par le circuit de programmation.

2.3.6.3 - Projet de réparation

Le projet de réparation doit développer la solution technique retenue à l'issue de la phase précédente. Il est établi pour le compte du service décisionnel par le service organisationnel (avec l'assistance éventuelle de spécialistes) sur la base de la solution technique retenue. Cette phase d'études est tout à fait indispensable ; on ne peut pas passer des études préliminaires au dossier de consultation des entreprises (DCE) sans avoir vérifié la faisabilité de la solution envisagée. Une attention particulière doit être portée à la stabilité de l'ouvrage et à la sécurité publique pendant les travaux.

L'étude doit être suffisamment détaillée pour permettre d'établir ensuite le DCE. Elle comprend notamment une estimation détaillée et un planning prévisionnel des travaux intégrant les conditions d'exploitation.

Le projet présente également la stratégie préconisée pour la consultation des entreprises et notamment les conditions de recours aux variantes techniques.

A l'issue de cette phase, le service décisionnel programme les travaux (financement, planning...) en lien avec les éventuels contacts extérieurs imposés par le circuit de programmation.

2.3.6.4 Travaux

Qualification des entreprises :

En raison de la spécialisation qu'ils requièrent, les travaux en tunnel doivent être exécutés par des entreprises ayant les qualifications appropriées et l'expérience de travaux similaires. Ces qualifications doivent être vérifiées par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage avant l'attribution du marché.

Lors de cette phase, il est conseillé au maître d'œuvre de s'entourer des conseils de spécialistes du réseau scientifique et technique (RST) du Ministère compétents en travaux souterrains (CETU notamment) ou d'organismes extérieurs.

Consultation des entreprises :

Le dossier de consultation doit donner toutes les informations nécessaires sur l'état de l'ouvrage et les conditions de réalisation des travaux, pour permettre aux entreprises consultées de bien évaluer la difficulté des travaux et de proposer les méthodes appropriées.

Lors de la consultation, la visite des lieux par l'entreprise peut être rendue obligatoire par le maître d'ouvrage.

Dans les travaux souterrains, la qualification des personnels d'encadrement sur le chantier étant essentielle, le règlement de consultation doit demander une liste nominative des personnels susceptibles d'intervenir avec les références de chacun.

L'entreprise doit remettre, avec son offre, la définition de la part des travaux qu'elle entend sous-traiter et la liste des principaux sous-traitants susceptibles d'intervenir.

Pour permettre le jugement des offres, le règlement de la consultation doit également demander les sous-détails ou les décompositions des principaux prix du marché.

L'entreprise doit aussi fournir un dossier justificatif des dispositions qu'elle se propose d'adopter pour l'exécution des travaux. Il doit notamment comprendre un programme détaillé des phases de travaux (dont les principaux cycles d'exécution).

Enfin, il est fortement recommandé pour le classement des critères de jugement des offres, de placer au premier plan dans le règlement de consultation la valeur technique de l'offre, qui doit être décrite avec précision par l'entreprise. Des critères additionnels tels que les procédures qualité, l'importance et la nature des travaux de sous-traitance, la prise en compte des contraintes environnementales, peuvent être ajoutés.

Préparation des travaux :

La période de préparation est une phase importante des travaux de réparation permettant notamment d'arrêter les procédures d'exécution.

Du fait de la particularité des techniques employées en tunnel, il est primordial d'adapter la durée de la période de préparation en fonction de la complexité des travaux à réaliser.

Suivi et réception des travaux :

Lors du suivi des travaux, le maître d'œuvre doit veiller au respect des prescriptions concernant la stabilité de l'ouvrage en imposant, si besoin, la mise en œuvre d'un système de suivi spécifique. Il doit donc prévoir les moyens nécessaires pour effectuer ce suivi avec une présence forte sur le chantier, notamment pendant toutes les phases de déblai en souterrain et de soutènement. L'enchaînement rapide de ces phases de travaux nécessite l'établissement de constats et donc une présence aux moments opportuns. Ces phases doivent d'ailleurs faire l'objet, dans le cadre d'un plan de la qualité, de nombreux points d'arrêt dont la levée est de la responsabilité du maître d'œuvre.

Par ailleurs, il est fortement conseillé d'exécuter les travaux hors circulation. Il arrive cependant qu'ils doivent être effectués la nuit et que la circulation soit rétablie le jour ; dans ce cas, l'entreprise doit tout particulièrement veiller à la mise en sécurité du chantier en fin de poste, sous le contrôle du maître d'œuvre.

Il faut attacher une grande importance à l'établissement par l'entreprise du dossier de récolement des travaux réellement réalisés en intégrant les éventuelles

adaptations du projet. La fourniture de ce dossier doit faire l'objet d'un prix au marché et conditionner la réception des travaux. Cette prestation doit être soumise à l'application de pénalités de retard.

Enfin, une visite préalable à la réception des travaux, avec les moyens adaptés en personnel et en matériel, doit être contractualisée avec l'entreprise et faire l'objet d'un procès-verbal contradictoire. La mise à disposition des moyens adaptés doit être incluse explicitement dans un des prix du marché.

2.3.6.5 - Remise en service de l'ouvrage

A l'issue des travaux, la remise en service d'un tunnel réparé doit faire l'objet des mêmes opérations que celles faites à la mise en service initiale.

Le service organisationnel a la responsabilité de veiller à ce que soient exécutées les opérations suivantes :

- l'inspection détaillée initiale destinée à établir un nouvel état de référence, qui comprend l'évaluation de l'état du génie civil et la redéfinition des tronçons et des zones,
- la mise à jour du dossier d'ouvrage et, en particulier, des documents de synthèse relatifs au génie civil et aux équipements (on rappelle que doivent y figurer les indications sur les points faibles éventuels, les prévisions d'évolution, les opérations spécifiques de surveillance prévues et une synthèse des travaux),
- la mise à jour des consignes pour l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage.

2.4 - Maintenance, contrôle et renouvellement des équipements

Rappelons que les équipements d'un tunnel sont très variés. Depuis les équipements lourds de type électromécanique (alimentation électrique, ventilation, éclairage...), jusqu'aux équipements d'exploitation plus sophistiqués (vidéosurveillance, gestion technique centralisée...), ils demandent tous des interventions plus ou moins fréquentes pour assurer leurs fonctionnalités.

Les interventions à réaliser sur les équipements sont de trois sortes :

- maintenance,
- contrôle,
- renouvellement.

A cette liste, il faut ajouter les exercices que le maître d'ouvrage gestionnaire doit organiser chaque année, conjointement avec les services d'intervention.

Ces exercices peuvent permettre de découvrir certains dysfonctionnements au niveau des équipements.

2.4.1 - Contexte

Complexité de l'ouvrage

Le maître d'ouvrage gestionnaire doit adapter sa politique de gestion du patrimoine à la complexité du tunnel, à l'importance de la voie et aux enjeux liés à l'itinéraire. Les problèmes rencontrés sont en effet sans commune mesure selon qu'il s'agit de quelques équipements de signalisation fixe et d'éclairage d'un tunnel court ou de l'ensemble des équipements parfois très sophistiqués d'un tunnel urbain ou autoroutier. Les indications données par le présent fascicule portent plutôt sur ce dernier cas afin de couvrir les besoins les plus forts et de donner le maximum d'informations au maître d'ouvrage gestionnaire.

Le chapitre 5 précise les dispositions nécessaires à la mise en oeuvre d'une politique efficace de maintenance, de contrôle et de renouvellement des équipements.

Conditions d'interventions

Toutes les interventions sur les équipements sont soumises à de nombreuses contraintes relatives :

- à la forte exigence de sécurité des usagers,
- à l'agressivité du milieu ambiant,
- aux conditions difficiles d'intervention à l'intérieur du tunnel,
- à la diversité des types d'équipements.

Les interventions sur le terrain, relatives à la maintenance et au contrôle des équipements, doivent être réalisées dans le respect des règles générales de la protection et de la sécurité des travailleurs et des règles particulières à certaines installations spécifiques (cf. chapitre 5).

De plus, il est rappelé l'importance pour le service opérationnel de rechercher à regrouper les interventions impliquant des contraintes d'exploitation ; cela inclut, lorsque leur contenu le permet, les interventions liées au génie civil comme aux équipements dans le contexte de surveillance et d'entretien, ainsi que les procédures particulières de sécurité éventuelles.

Rôle des intervenants

En corollaire du paragraphe 2.1 relatif à l'organisation du maître d'ouvrage gestionnaire, le rôle spécifique de chaque intervenant en matière d'équipements est le suivant :

- les services opérationnels sont chargés d'assurer la maintenance et le contrôle des équipements, en régie ou en faisant appel à des entreprises spécialisées ;
- le service organisationnel définit et propose au service décisionnel une politique de maintenance ; il fait réaliser les contrôles réglementaires et les inspections ;

- le service décisionnel arrête la politique de maintenance et prévoit les budgets nécessaires à sa réalisation mais également, le moment venu, ceux des opérations plus coûteuses de renouvellement des gros matériels.

Les équipements d'un tunnel contribuent très directement au niveau de sécurité pour les usagers. Cela implique que toute intervention sur les équipements fasse l'objet d'une étude préalable (même sommaire) de son impact sur le niveau de sécurité du tunnel, ce qui peut conduire à la mise en œuvre de mesures particulières d'intervention. Par ailleurs, pour les tunnels soumis aussi à la réglementation de sécurité prévue dans le code de la voirie routière⁽³⁾ (tunnels de plus de 300 mètres), le maître d'ouvrage gestionnaire devra s'attacher à mettre en cohérence les calendriers et contenus des différents types d'interventions dans le tunnel.



Figure 4 : Exercice annuel de sécurité dans un tunnel

Dossier d'ouvrage

En matière de maintenance des équipements, le dossier d'ouvrage n'a pas vocation à consigner les diverses opérations de maintenance réalisées mais il doit refléter en permanence l'état des installations ; il doit en particulier indiquer toutes les adaptations apportées suite à un renouvellement significatif de matériels ou à diverses modifications fonctionnelles ; il doit également consigner la date et la nature des différentes opérations systématiques de surveillance réalisées ; il comprend aussi un document de synthèse (voir fascicule 1 « Dossier d'ouvrage »).

2.4.2 - Maintenance

Comme pour toute installation industrielle, la maintenance des équipements des tunnels routiers constitue à elle seule un domaine pouvant donner lieu à de nombreux développements. L'objet du présent fascicule n'est pas de se substituer aux différents documents disponibles en la matière. Il se limite à faire ressortir les principes généraux de l'organisation de la maintenance que doit mettre en œuvre le maître d'ouvrage et à indiquer les principales actions qu'il doit mener.



Figure 5 : Intervention de maintenance en tunnel avec un camion nacelle

Définitions

Le terme de maintenance désigne l'ensemble des actions à mener pour qu'un équipement puisse rendre le service qu'on attend de lui au moment où il est sollicité.

Deux grands types de maintenance peuvent être distingués :

- la maintenance préventive qui est effectuée, selon des critères prédéterminés, afin d'éviter que l'équipement ne tombe en panne : elle présente l'avantage de réduire le nombre de défaillances imprévues et d'être facile à planifier ; elle peut toutefois conduire à des dépenses élevées si les interventions sont trop fréquentes. Elle demande donc à être très optimisée ;
- la maintenance corrective qui intervient après une défaillance totale ou partielle de l'équipement : elle présente l'avantage d'utiliser un système au maximum de sa durée de vie ; elle a cependant l'inconvénient de ne pas pouvoir être planifiée et donc de parfois conduire à réaliser des interventions dans l'urgence avec des surcoûts importants et, éventuellement, des perturbations pour l'écoulement du trafic dans le tunnel.

La maintenance préventive se subdivise elle-même en :

- maintenance systématique : les interventions sont faites suivant un planning établi selon le temps ou selon des durées de fonctionnement ;
- maintenance conditionnelle : les interventions sont subordonnées à la quantification d'un ou plusieurs éléments : mesure d'une usure, mesure de performance, etc.

A titre d'exemple, les sources lumineuses d'une installation d'éclairage peuvent faire l'objet des trois sortes de maintenance :

- maintenance préventive systématique : les sources lumineuses sont remplacées dès qu'elles ont fonctionné pendant 10 000 heures⁽⁴⁾,

(3) Articles L.118-1 à L.118-5 et articles R.118-1-1 à R.118-3-9 notamment

(4) Valeur donnée à titre d'exemple et dépendant de la nature des sources utilisées.

- maintenance préventive conditionnelle : les sources lumineuses sont remplacées dès que l'éclairage qu'elles assurent descend au-dessous d'un certain pourcentage du niveau d'éclairage obtenu à la mise en service de l'installation,
- traitement correctif : les sources lumineuses sont remplacées lorsqu'elles sont hors d'usage.

La norme ⁽⁵⁾ fournit (à titre indicatif) une classification des diverses actions de maintenance en cinq niveaux. Le niveau 1 regroupe les actions les plus simples, le niveau 2 des actions un peu plus techniques et ainsi de suite jusqu'au niveau 5 qui concerne les actions de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Le tableau ci-dessous propose une classification inspirée de la norme.

Il est important de noter que dans cette classification :

- les niveaux 1, 2 et 3 relèvent de la maintenance préventive ;

- le niveau 4 ne contient que des actions de maintenance corrective ;
- le niveau 5 concerne la rénovation d'un sous-système (par exemple, le moteur d'un accélérateur) mais il est différent du renouvellement qui concerne une famille d'équipements (par exemple, l'installation de surveillance vidéo).

Le niveau opérationnel doit normalement être en mesure d'assurer en régie les tâches de niveau 1, parfois de niveau 2 s'il dispose d'agents avec des compétences techniques adaptées.

Les actions des niveaux 3 et 4, qui requièrent une technicité plus élevée, doivent être confiées à des spécialistes ; celles de niveau 5, qui concernent la rénovation ou la reconstruction d'un matériel, ne peuvent être conduites que par les constructeurs de l'équipement considéré. Les actions de niveau 4 sont le plus souvent engagées suite à des constats faits dans le relevé permanent d'événements.

Niveau	Nature de tâche	Type de tâche	Technicité ⁽⁶⁾
1	Entretien courant	Lavage, Nettoyage, Peinture, etc.	Faible
2	Essais / vérifications (accessibles) ⁽⁷⁾	Passage de commandes manuelles Relevé de valeurs affichées Contrôle des voyants et des indicateurs de défauts	Faible
	Essais / vérifications (moins accessibles)	Mesures électriques (tension, intensité, fréquence, harmoniques, etc.). Mesures aérouliques, acoustiques, photométriques, etc.	Moyenne
3	Interventions programmées (sous-ensemble)	Échange standard d'une partie d'un équipement (filtres, afficheurs, voyants, cartes électroniques, etc.).	Moyenne
	Interventions programmées (équipement complet)	Échange standard d'un équipement (capteurs d'acquisition, appareils de mesure, etc.).	Moyenne à élevée
4	Dépannage (équipement standard)	Recherche de panne, diagnostic et réparation (circuits basse tension, armoires et moteurs électriques, etc.)	Élevée
	Dépannage (équipement complexe)	Recherche de panne, diagnostic et réparation (cellules haute tension, réseaux de données, automates, armoires électroniques, etc.)	Très élevée
5	Rénovation, reconstruction	Toutes familles d'équipements	Très élevée

⁽⁵⁾ Fascicule de documentation FD X 60-000 Mai 2002 "Maintenance industrielle - Fonction maintenance"

⁽⁶⁾ Dans tous les cas, les intervenants doivent être habilités et formés aux différents types d'intervention.

⁽⁷⁾ L'agent de maintenance n'est pas conduit à ouvrir des armoires

En termes de nature de tâche, le niveau 2 concerne les essais/contrôles. Toutefois, pour ne pas créer de confusions, dans la suite du présent document, nous parlerons désormais d'**essais/vérifications**.

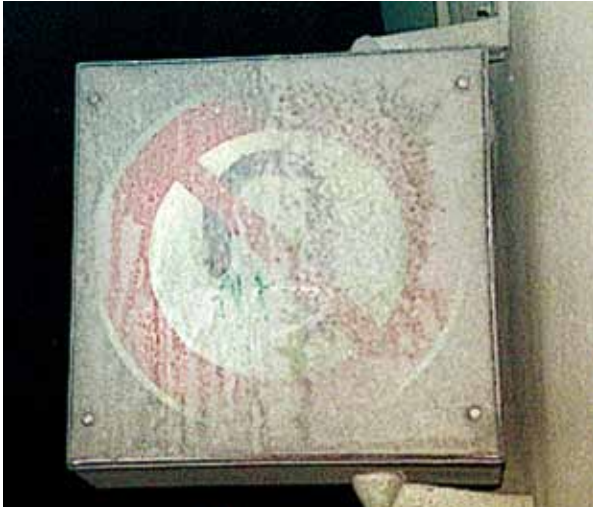


Figure 6 : Exemple d'équipement à nettoyer

Politique de maintenance

Plusieurs spécificités des équipements des tunnels routiers ayant une incidence sur la maintenance ont déjà été indiquées. A cela, il faut ajouter, d'une part, la grande diversité des équipements et, pour certains d'entre eux, la haute technicité qu'ils présentent et, d'autre part, le niveau de sécurité à assurer dans l'ouvrage.

Il convient d'ajouter que les conditions difficiles d'intervention en tunnel écartent toute possibilité d'improvisation.

Dans ce contexte, parmi les composantes classiques de toute politique de maintenance (définition des objectifs de qualité et des indicateurs de contrôle, définition et organisation des moyens mis en œuvre...) le choix principal qui se présente au maître d'ouvrage est le suivant : **maintenance préventive ou maintenance corrective ?**

Un équipement en panne doit toujours faire l'objet d'une intervention corrective. Très souvent, c'est même lorsqu'on veut faire fonctionner l'équipement en question que la panne est découverte. Ce type d'intervention entraîne donc toujours une intervention non programmée avec un délai de réparation qui peut être long, voire très long si la pièce de rechange n'est pas disponible rapidement. L'exploitant se trouve alors avec un fonctionnement dégradé qui peut, suivant la nature de l'équipement et son état, imposer des restrictions d'exploitation du tunnel, voire même sa fermeture. Une démarche de type curatif répond à une logique de « coup par coup » et ne peut donc se concevoir que pour les ouvrages faiblement équipés.

Dans la très grande majorité des cas, il convient d'opter pour une maintenance préventive qui, si elle ne peut empêcher les pannes, permet d'en réduire fortement l'occurrence. Le choix entre maintenance systématique et maintenance conditionnelle est à apprécier par le service décisionnel sur proposition du service organisationnel en fonction des moyens humains et techniques dont on dispose et en fonction de la difficulté des opérations ; une démarche de type conditionnel permet d'optimiser au mieux les interventions et le stock de pièces de rechange ; à l'inverse, elle impose un suivi précis des équipements en place, avec notamment des contrôles de performances et des essais réguliers.

Avant de définir son organisation, le maître d'ouvrage gestionnaire doit disposer de la liste des principales tâches à réaliser avec leur niveau de maintenance, leur type (préventives ou correctives) et examiner celles qu'il est en mesure de faire réaliser par les moyens propres au service opérationnel et celles qui doivent être sous-traitées. **Certaines tâches ne peuvent être réalisées que par des agents ayant une qualification particulière ;** si les services n'en disposent pas, il faut faire appel à un organisme extérieur.

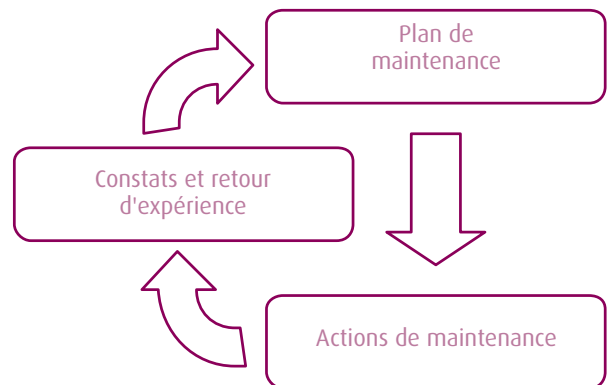
Organisation et réalisation de la maintenance

Les différentes tâches à effectuer sont définies et décrites dans le plan de maintenance qui fournit l'ensemble des indications nécessaires à leur réalisation.

Ce plan est élaboré à partir du sous-dossier « Gestion des équipements et données d'exploitation » tel que défini dans le fascicule 1 « Dossier d'ouvrage ». Il doit notamment prendre en compte tous les éléments relatifs aux :

- opérations périodiques d'étalonnage des appareils de mesure,
- essais périodiques des équipements de sécurité,
- calendrier de renouvellement des équipements électriques et électromécaniques,
- dossier des opérations d'entretien et de réparation.

Il appartient au maître d'ouvrage gestionnaire de l'adapter en fonction du retour d'expérience qu'il aura mis en œuvre.



De même, il lui revient d'organiser le regroupement et l'actualisation de toute la documentation relative aux équipements.

Les opérations de maintenance sont généralement réalisées lors des périodes de faible trafic et, pour celles se déroulant dans l'espace de circulation, dans des conditions particulières d'exploitation (restriction du nombre de voies par exemple). Dans le cas de tunnels sur voie rapide urbaine ou sur autoroute pour lesquels les dangers courus sont importants, elles sont généralement réalisées en fermant totalement le tube concerné. Ces différentes conditions font l'objet de consignes précises portant sur le maintien de l'exploitation de l'ouvrage (sauf cas particulier de fermeture du tube avec déviation du trafic en surface), afin de garantir un potentiel d'équipement opérationnel acceptable et d'assurer la sécurité des usagers ; ces consignes doivent également porter sur les aspects de la sécurité du personnel d'intervention.

L'élaboration et la mise à jour de ces consignes (elles-mêmes liées au plan d'intervention et de sécurité), sont validées par le service décisionnel sur proposition conjointe du service organisationnel et du service opérationnel.

2.4.3 - Contrôles

Les équipements font l'objet de quatre sortes de contrôle :

- Le contrôle "continu"

En fonction des équipements et surtout du type d'exploitation du tunnel, nous trouvons :

- Pour les tunnels bénéficiant d'une surveillance humaine (permanente ou pas), un contrôle quasi continu qui s'effectue grâce aux dispositifs de contrôle/commande des installations : pour ces ouvrages, le pupitre est en effet en mesure de détecter les pannes ou dysfonctionnements à partir de son poste de contrôle commande, soit de manière directe sur les moniteurs de vidéosurveillance (panne d'une caméra, d'un panneau à message variable, etc.), soit grâce au système de gestion technique centralisée (panne d'un ventilateur ou d'un circuit d'éclairage par exemple).
- Pour les autres ouvrages, des visites périodiques permettent au personnel du maître d'ouvrage gestionnaire de repérer les dysfonctionnements visibles dans le tunnel et dans les locaux techniques ; d'une manière plus approfondie, les visites et/ou les interventions de maintenance permettent de détecter les anomalies et, à l'issue des travaux d'entretien ou de réparation, s'accompagnent d'un contrôle du bon fonctionnement des équipements.

Il est important de noter que le contrôle "continu" constitue une action de maintenance au sens de la norme. De fait, dans le tableau du paragraphe 2.4.6 et dans le chapitre 5, ce type de tâche de contrôle apparaît dans la liste d'actions de maintenance préventive.

- Les contrôles réglementaires

Certains équipements sont soumis à des textes spécifiques qui, pour certains, imposent des contrôles réguliers. Il convient donc que le maître d'ouvrage gestionnaire prenne toutes les dispositions nécessaires pour répondre à ces exigences particulières (installations électriques, extincteurs, appareils de levage et de manutention, blocs autonomes d'éclairage, systèmes de détection incendie...).

Les contrôles réglementaires ne peuvent être faits que par des organismes habilités.

- Les inspections détaillées

Des opérations systématiques sont réalisées sous la forme d'inspections détaillées permettant de disposer, suivant un cycle plus long, d'un véritable diagnostic global de l'état et du caractère opérationnel des équipements. Elles s'inscrivent dans une perspective d'audit de performances porté par un regard extérieur et, à ce titre, elles ne peuvent pas être réalisées par le niveau opérationnel.

L'inspection détaillée initiale (IDI) doit être faite avant la mise en service, pendant la période où le maître d'ouvrage constructeur transfère la responsabilité de l'ouvrage au maître d'ouvrage gestionnaire. Dès que l'ouvrage est en service, c'est le maître d'ouvrage gestionnaire qui prend la responsabilité de gestionnaire et d'exploitant de l'ouvrage.

Il faut noter que, pour certains équipements, dont la mise au point peut demander plusieurs mois (DAI par exemple), l'IDI peut être complétée par des données obtenues après la mise en service du tunnel.

Ensuite, **pour les équipements**, chaque inspection détaillée périodique (IDP) a lieu :

- 6 ans après l'IDI, pour les tunnels de longueur inférieure ou égale à 300 mètres,
- environ un an avant le renouvellement de l'autorisation de mise en service du tunnel pour les ouvrages d'une longueur supérieure à 300 mètres. Si on prend comme origine la mise en service de l'ouvrage, la première IDP sera donc réalisée 5 ans après.

En respectant ce phasage, les résultats de l'IDP peuvent alimenter le travail de l'Expert ou Organisme Qualifié Agréé (EOQA tel que défini à l'article R.118-3-3 du code de la voirie routière) pour l'établissement de son rapport de sécurité.

- Les séquences particulières de sécurité

En tunnel, la plupart des équipements contribue à assurer un certain niveau de sécurité aux usagers. Certains équipements sont utilisés quotidiennement (ventilation sanitaire, éclairage...), alors que d'autres le sont, heureusement, beaucoup plus rarement (fermeture, désenfumage...). Les séquences particulières de sécurité visent donc à vérifier régulièrement le fonctionnement de dispositifs de sécurité qui sont rarement sollicités (dispositifs de désenfumage et/ou de fermetures automatiques et/ou d'évacuation...).

2.4.4 - Évaluation des équipements

Dans le même esprit que ce qui est fait pour le génie civil, les tunnels routiers font l'objet d'une évaluation de l'état et des performances de leurs équipements.

Les équipements nécessaires à l'exploitation et à la sécurité peuvent recouvrir une grande variété de dispositifs allant des équipements lourds de type électromécanique (éclairage, alimentation électrique, ventilation, etc.), à des équipements plus sophistiqués (vidéosurveillance, retransmission des radiocommunications, etc.), ce qui nécessite l'avis de spécialistes ou de personnes ayant les compétences techniques nécessaires pour juger de leur état.

Le maître d'ouvrage gestionnaire a, par conséquent, la responsabilité de l'évaluation des équipements du fait :

- de sa perception des enjeux de gêne à l'exploitation et de sécurité,
- de sa connaissance de la vie des équipements de son ouvrage.

L'évaluation ne fait pas l'objet d'une visite spécifique mais fait partie intégrante du bilan de l'inspection détaillée à l'issue de laquelle les spécialistes proposent au service organisationnel une évaluation de l'état et des performances. Ce service la vérifie, la modifie le cas échéant et la fait valider par le service décisionnel.

Entre deux inspections détaillées périodiques, le service organisationnel peut proposer au service décisionnel de modifier les évaluations, si cela se justifie du fait de travaux réalisés ou suite à une évolution importante constatée lors des contrôles annuels. Si besoin, le service organisationnel peut faire appel à des spécialistes.

2.4.5 - Renouvellement

Le renouvellement des matériels usagés ou obsolètes revêt une importance particulière du fait que, comme indiqué précédemment, la durée de vie des équipements est faible au regard de celle du génie civil.

Il s'agit d'une démarche de type préventif qui doit s'inscrire dans une programmation pluriannuelle.

En termes de renouvellement d'un équipement, la réflexion doit être menée en considérant les trois sources d'informations suivantes :

- les données issues du bilan des interventions,
- la disponibilité des pièces de rechange,
- l'obsolescence des équipements.

Données issues du bilan des interventions

Le renouvellement d'un équipement doit être envisagé si les données collectées lors des interventions en tunnel mettent en évidence une des situations suivantes :

- un danger direct que, par suite d'une dégradation, l'équipement peut présenter vis-à-vis des usagers ou du personnel d'intervention circulant dans l'ouvrage : c'est le cas des équipements détériorés suspendus au-dessus de la chaussée ou des trottoirs ;
- une panne non réparable de l'équipement (explosion d'une cellule haute-tension ou de la turbine d'un ventilateur) ou une fréquence de pannes élevée conduisant à des coûts d'intervention excessifs ;
- une dégradation excessive des performances de l'équipement (débit d'un ventilateur, niveau d'éclairage fourni par des luminaires...) qui fait que celui-ci ne rend plus que partiellement le service qui en est attendu ; les grandeurs auxquelles se rapportent ces performances ne peuvent pas être définies avec une grande précision si bien qu'une légère dérive des performances n'est pas problématique ; il convient toutefois de la contenir en-deçà de seuils admissibles : on peut fixer, en première approximation, la limite à 15% environ pour les débits d'air ou la poussée des accélérateurs assurant une fonction de désenfumage (les ventilateurs sont des machines assez stables en performances dans le temps) et à 20% pour les niveaux d'éclairage ou de luminance par rapport aux valeurs nominales initiales ; pour les débits de ventilation sanitaire, la question doit être examinée en fonction de l'évolution des besoins en dilution des polluants (CO, NOx...). Quant à la baisse des performances d'installations plus sophistiquées telles que la détection automatique d'incident, une étude au cas par cas s'impose.



Figure 7 : Équipement dangereux

Disponibilité des pièces de rechange

La nécessité de renouvellement peut être due au caractère " ancienne fabrication " d'un équipement qui conduit à ne plus pouvoir assurer son entretien ou sa réparation s'il venait à tomber en panne, en particulier faute d'approvisionnement de ses pièces de rechange. Ce critère intervient fortement dans les matériels de haute technologie (informatique par exemple) où les produits proposés par les fabricants sont très vite remplacés par d'autres plus performants, mais peut également concerner des équipements électriques lourds (cellules haute tension par exemple) dont le fonctionnement est essentiel pour l'exploitation de l'ouvrage.

Pour pouvoir entretenir un équipement quel qu'il soit, il faut disposer, ou être sûr de pouvoir disposer dans un délai raisonnable, de pièces de rechange. Lorsque les installations sont récentes cela ne pose, en principe, pas de difficulté particulière ; pour les installations en place depuis plusieurs années, il faut s'assurer auprès des fabricants de la disponibilité de leurs pièces de rechange.

Généralement, pour un produit de type électromécanique, les constructeurs assurent la fourniture de pièces de rechange pendant une durée de 10 ans à compter du moment où ils ne le commercialisent plus ; pour les produits intégrant des composants électroniques, cette durée peut être beaucoup plus faible.

Il faut parfois prévoir de remplacer des équipements encore en bon état de marche par des modèles plus récents pour anticiper les conséquences d'une indisponibilité des pièces de rechange en cas de défaillance.

D'une manière générale, il est nécessaire pour le service opérationnel de disposer d'un stock de pièces de rechange dont la composition doit être adaptée aux besoins. Ce stock doit comprendre les pièces dont la présence sur le site du tunnel va permettre une intervention très rapide en cas de panne ; il s'agit généralement, outre le consommable courant, d'accessoires tels que des fusibles, des disjoncteurs, des cartes électroniques...

ou d'équipements facilement interchangeables existant en nombre dans l'ouvrage : panneaux de signalisation, appareils d'éclairage, boîtes de dérivation ou caméras. Il s'agit également de pièces non disponibles rapidement chez les fournisseurs (accélérateurs, pales ou moteurs de gros ventilateurs par exemple) ou achetées, tant qu'il en est encore temps, parce que leur approvisionnement ne sera plus assuré.

La composition du lot de pièces de rechange doit être définie avec discernement en évitant notamment la tendance inflationniste qui s'avère coûteuse sans pour autant être plus efficace ; en outre, un stock trop important (donc des pièces de rechange qui sont présentes depuis longtemps) peut subir des détériorations.

Enfin, le maintien du stock de pièces de rechange nécessite une véritable gestion qui constitue une tâche importante du service opérationnel.

Obsolescence des équipements

Après quelques années de fonctionnement, certains équipements, notamment les matériels de haute technologie (DAI, GTC, supervision...), peuvent assurer parfaitement les services qui leur ont été initialement dévolus, tout en étant très en deçà des possibilités offertes par les évolutions technologiques les plus récentes. Bien évidemment, il ne s'agit pas d'envisager un renouvellement dès lors qu'un équipement plus performant apparaît sur le marché, mais il convient de mener régulièrement une réflexion sur le caractère obsolète que pourront présenter certains équipements dans l'objectif de les mettre à jour.

2.4.6 - Synthèse

Le tableau suivant reprend les actions que le maître d'ouvrage gestionnaire doit faire, ou faire réaliser, pour assurer la maintenance, le contrôle et le renouvellement des équipements.

		Tâches	Échéances
Maintenance	préventive	Entretien courant (niveau 1)	Liées à la nature des équipements (voir Chapitre 5)
		Essais/vérifications (niveau 2) ⁽⁸⁾	
		Interventions programmées (niveau 3)	
	corrective	Dépannage (niveau 4)	À l'apparition des dysfonctionnements
Contrôles		Contrôles réglementaires	Selon exigences réglementaires spécifiques
		Inspection Détaillée Initiale (IDI)	Avant la mise en service
		Inspection Détaillée Périodique (IDP)	Tous les 6 ans (tunnels de longueur ≤ 300 mètres) Un an avant le renouvellement de l'autorisation de mise en service (tunnels de longueur > 300 mètres)
		Séquences particulières de sécurité	Tous les ans
Renouvellement		Rénovation lourde	Liées au retour d'expérience et aux résultats des IDP

(8) Y compris le " contrôle continu " tel que défini au paragraphe 2.4.3

2.5 - Évaluation de la politique globale de gestion du patrimoine

Il appartient au maître d'ouvrage gestionnaire de décider des moyens et des méthodes à mettre en œuvre pour évaluer sa politique de gestion du patrimoine.

Cette évaluation doit lui permettre :

- de garantir la réalisation effective des tâches d'entretien, de contrôle et de réparation à partir d'éléments fournis par le service opérationnel et le service organisationnel ;
- d'adapter la nature des tâches en fonction du retour d'expérience ;
- d'en évaluer l'efficacité globale à partir des inspections détaillées périodiques.

Le niveau opérationnel formalise et rend compte des interventions réalisées dans le tunnel.

Le niveau organisationnel synthétise et établit des indicateurs.

Le niveau décisionnel analyse les indicateurs et oriente sa politique en fonction des tendances constatées.

A titre d'exemple, des indicateurs concernant le respect des programmes de visites et d'intervention peuvent être associés à des indicateurs sur le taux de défaillance des équipements et l'évolution de l'état du génie civil.

2.6 - Contraintes d'exploitation

L'ensemble du présent chapitre 2 nécessite la mise en place d'actions de la part du maître d'ouvrage gestionnaire pour assurer une gestion efficace de ses tunnels. Comme nous l'avons signalé fréquemment, certaines actions entraînent des contraintes fortes pour l'exploitation du réseau et doivent être anticipées afin de limiter les perturbations de la circulation et d'optimiser les conditions d'intervention.

Nous indiquons tout d'abord comment se situent dans le temps les différentes inspections qui sont à réaliser tant pour le génie civil que pour les équipements. Le tableau ci-dessous illustre le cas général en génie civil (sans prendre en compte les tronçons sensibles ou robustes), pour un tunnel de plus de 300 mètres de long (la première IDP pour les équipements est à 5 ans).

		Années																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	15	...	17	...
Inspections périodiques	Génie civil	IDI			IDP						IDP					IDP			
	Equipements	IDI					IDP						IDP					IDP	

Nous indiquons ensuite ci-après, de manière synthétique et indicative, les conséquences prévisibles pour le trafic des principales actions de surveillance du génie civil et de contrôle des équipements.

Nature de l'intervention	Incidence sur le trafic
Examen sommaire têtes et parties non circulées	Perturbation locale voire restriction de capacité
IDP du génie civil	Fermeture du tube
IDP des équipements	Restriction de capacité voire fermeture du tube
Conformité électrique	Sans incidence
Séquences fonctionnelles	Perturbation locale voire restriction de capacité
Exercices de sécurité	Selon les cas, de sans incidence à fermeture du tube voire fermeture totale de l'ouvrage

3 - Dispositions spécifiques au génie civil des tunnels creusés

Ce chapitre est destiné à illustrer et préciser les actions réglementaires de surveillance et d'entretien du génie civil décrites dans le chapitre 2 pour les cas les plus courants rencontrés en tunnels creusés. Il n'a pas vocation à être exhaustif mais à préciser les principaux éléments techniques qui permettent de mieux appréhender les dispositions à prendre.

Ce chapitre peut aussi, en adaptant certaines parties, s'appliquer à des ouvrages particuliers comme les tunnels creusés non circulés et les tunnels immergés.

3.1 - Structures concernées

Tous les types de tunnels creusés dans le sol, quels que soient leur longueur, section, mode d'excavation et revêtement des parois, sont composés d'une structure principale et de structures annexes :

STRUCTURE PRINCIPALE

Tubes

Les tubes sont constitués de tous les éléments assurant la stabilité à long terme de la section de creusement (soutènements, revêtement...).

Ouvrages spécifiques aux têtes

Ces aménagements comportent les têtes de tunnels, les soutènements du front et de la tranchée d'accès ainsi que d'autres ouvrages de génie civil pouvant participer à la stabilité de l'ensemble.



Tunnel du Lioran (Cantal)



Tunnel du Pas de l'Escalette sur l'A75 (Hérault)

Figure 8 : Exemples de têtes

STRUCTURES ANNEXES

Aménagements pour l'évacuation et la protection des usagers et l'accès des secours

Ces aménagements regroupent les communications directes avec l'extérieur, les communications entre tubes, les galeries de sécurité parallèles, les abris et cheminements, les galeries de retournement et les garages.

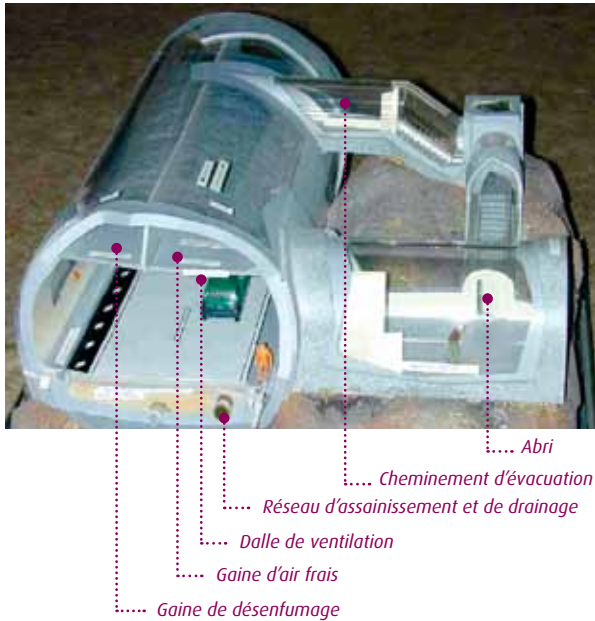


Figure 9 : Maquette de la composition d'un ouvrage

Ouvrages annexes liés à l'exploitation

Ils correspondent au génie civil des stations de ventilation souterraines, des puits et des galeries d'amenée ou d'extraction d'air, des stations de relevage des eaux, des locaux pour les équipements, des bâches de rétention...

3.2 - Notions sur les causes et la nature des désordres

La grande diversité des tunnels creusés existant en France est liée à la variété des âges, des conceptions et des structures géologiques des terrains encaissants. Il est nécessaire, pour assurer leur bonne gestion, de connaître les principaux facteurs qui ont une influence sur leur vieillissement et qui peuvent provoquer des désordres ou engager la sécurité des usagers.

3.2.1 - Les causes

Les désordres observés dans les tunnels ont de nombreuses origines qui se regroupent en trois familles principales.

3.2.1.1 - Environnement

Bien que toujours pris en compte dès le stade du projet, l'environnement d'un tunnel (terrain encaissant, nappe aquifère) peut être modifié au cours du temps par des événements géologiques imprévus, le changement climatique ou des actions humaines (carrières, constructions, pompages, rejets, faits de guerre).

On peut distinguer, conformément au guide technique « Zone d'influence – Accès – Abords (fascicule 20) » :

- la zone d'influence de l'environnement sur l'ouvrage : elle peut parfois s'étendre à une partie importante du massif traversé (risques de venues d'eau par des conduits karstiques ou d'anciennes cheminées, glissements de terrain affectant un versant traversé par un tunnel) ;
- la zone d'influence de l'ouvrage sur l'environnement : elle ne se limite pas au seul revêtement et doit être étendue au moins à la couronne de terrain de plusieurs mètres d'épaisseur qui a été sollicitée lors du percement, mais elle est souvent beaucoup plus vaste (tarissement des sources lié au rabattement de la nappe, risques de pollution de la nappe en cas de déversement de matière dangereuse, fontis, tassement au-dessus de tunnels peu profonds).

Il est à noter par ailleurs que les conditions climatiques en altitude peuvent constituer des sources de dégradations (grandes différences de température, gel prolongé).

Nature, structure et comportement du terrain encaissant

En tunnels non revêtus, les causes des désordres sont directement liées aux particularités géologiques du terrain encaissant : fléchissement de dalles rocheuses, masses de roche fracturée, décohésion superficielle... Les conséquences se divisent alors en deux catégories :

• Les instabilités localisées

Elles entraînent un risque direct sur la sécurité des usagers. Ce sont les plus fréquentes et doivent être gérées avec une approche "risque naturel" similaire à une voirie extérieure.

• Les instabilités généralisées

Elles entraînent un risque de ruine du tunnel. Elles sont peu fréquentes mais nécessitent une analyse sur le long terme.

En tunnels revêtus, le comportement différé ou réactivé du terrain, tel que le gonflement, la dissolution ou le fluage, exerce des sollicitations sur les revêtements, provoquant des désordres tels que des ventres de déformation dans les maçonneries, des fissures, de l'écaillage par excès de contrainte. L'examen attentif des revêtements permet d'alerter sur les possibles évolutions du terrain et d'intervenir avant la rupture ou la ruine. On ne peut pas écarter ce risque pour les tunnels récents, compte tenu du nombre de paramètres en jeu.

Influence de l'eau

L'eau, qu'elle provienne du massif ou de fuites de réseaux en milieu urbain, est l'agent principal des désordres et du vieillissement des tunnels. Elle agit aussi bien au niveau physique (lessivage de bétons ou de joints en mortier, entraînement des fines des terrains meubles, gel, mise en charge) qu'au niveau chimique (dissolution, gonflement des terrains, attaques sulfatiques, concrétion dans les drains). Les ruissellements, le verglas, les stalactites de glace en voûte, les déformations de chaussée... apportent une gêne à l'usager, mais entraînent aussi la dégradation des équipements (corrosion) ou leur dysfonctionnement (court-circuits). Ils peuvent conduire à des limitations d'exploitation importantes.

3.2.1.2 - Construction du tunnel

Le patrimoine de tunnels regroupe une diversité d'ouvrages réalisés à des périodes très différentes. Les techniques de construction, les matériaux, les méthodes et techniques de dimensionnement évoluent et progressent, profitant notamment des retours d'expérience des chantiers passés. Une technique défailante ou une méconnaissance des comportements des matériaux et des terrains peuvent donc être une cause de désordre.

Méthodes de construction

Certains tunnels anciens ont été réalisés à une époque où on ne disposait pas des techniques et des moyens propres à stabiliser les terrains encaissants lors du creusement, comme le permettent les méthodes actuelles de soutènement. De plus, la connaissance limitée du terrain et de son comportement différé pouvait conduire à des structures sous-dimensionnées. Si les moyens d'études ont grandement évolué depuis lors, permettant de minimiser les incertitudes au niveau des projets, des aléas sont toujours possibles.

Ce fascicule aborde les aspects de construction de manière très sommaire, mais le lecteur intéressé par ce sujet pourra consulter le dossier pilote des tunnels publié par le CETU.

Choix des matériaux

Les tunnels anciens en revêtement maçonné n'ont pas toujours bénéficié des meilleurs matériaux, notamment pour des raisons économiques. Nombre de voûtes en maçonnerie ont péri ou mal vieilli pour avoir été bâties avec des matériaux provenant de l'excavation.

L'utilisation du béton a permis d'améliorer la qualité des ouvrages mais des compositions, des mises en œuvre mal maîtrisées ou l'emploi de bétons inadaptés à l'agressivité de leur environnement, ont parfois été à l'origine de désordres.

Les matériaux modernes utilisés depuis les années 1980 ont parfois été employés hors de leur domaine d'application, généralement dans les aménagements de second œuvre et, plus particulièrement, dans le drainage (encroûtement calcaire plus rapide dans les drains en PVC que dans les drains en polyéthylène, drains agricoles souples non prévus pour être noyés dans le béton...).

Réalisation

Les causes de désordres directement liées à la réalisation d'un tunnel sont souvent le fait d'adaptations de chantier. Insuffisamment étudiées, soit du fait de l'urgence nécessaire à leur mise en œuvre, soit par une prise en considération insuffisante des enjeux, soit par la mise en œuvre de matériaux non conformes, soit par une insuffisance de contrôles réguliers pendant le chantier, elles se concrétisent souvent par des malfaçons mais peuvent également avoir un caractère pathologique plus grave.

Dans tous les cas, il est important de noter que seuls des dossiers de récolement correctement réalisés et archivés permettent une analyse efficace de ce type de pathologie.

Zones structurelles particulières

Certaines dispositions structurelles peuvent être délicates à concevoir et à réaliser. Cette complexité est susceptible de créer un risque de désordre intrinsèque, notamment dans les aménagements suivants :

- les dalles de ventilation, leurs appuis et cloisons,
- les niches,
- le drainage (drains, regards, collecteurs...),
- les joints entre plots ou voussoirs,
- les transitions entre structures (tube principal et galeries, section courante et ouvrages de tête, changement de types de revêtement ou de soutènements...),
- les zones portant des équipements lourds...



3.2.1.3 - Vie de l'ouvrage

Manque d'entretien

L'insuffisance ou l'absence d'entretien d'un tunnel est un facteur de vieillissement accéléré des structures, qui se traduit tôt ou tard par des désordres graves :

- soit par la mise en cause directe de la sécurité des usagers (à titre d'exemple, l'absence de purges préventives en sections non revêtues conduit parfois à des chutes de roches),
- soit parce qu'elles entraînent de gros travaux de réparation (à titre d'exemple, faute d'un entretien suffisamment fréquent, certains réseaux de drainage se colmatent très rapidement, générant des désordres en voûte ou en chaussée).



Figure 10 : Conséquence du manque d'entretien : cunette engorgée

Réparations mal conçues ou mal exécutées

Les réparations mal conçues ou mal exécutées ont généralement pour effet de créer de nouveaux désordres, voire d'aggraver l'état de l'ouvrage.

Actions du trafic

Il peut exister des interactions entre les désordres d'un tunnel et son trafic.

Les effets permanents du trafic peuvent être :

- la circulation d'air pollué (facteur agressif pour les équipements et parfois les revêtements eux-mêmes),
- les sollicitations exercées par la circulation lourde sur les chaussées construites sur gaines de ventilation, galeries de service ou toutes autres structures...

Les actions accidentelles peuvent être :

- les frottements répétés des bâches de poids lourds au droit des zones déformées des tunnels anciens à faible gabarit qui fragilisent les maçonneries,

- les chocs plus importants,
- les incendies qui ont des conséquences très variables (écaillage des bétons...) selon leur importance et leur durée, et peuvent entraîner une diminution des caractéristiques mécaniques des matériaux et de la résistance des structures.

3.2.2 - Manifestation des désordres

Toutes les causes identifiées ci-dessus se combinent pour provoquer de nombreux types de désordres. La difficulté de leur présentation est inhérente à toute forme de classification. Certains désordres ne trouvent pas place dans les classes définies, alors que d'autres sont présents dans plusieurs d'entre elles.

Des précisions sur la terminologie employée sont nécessaires : en effet, les termes de « désordre », « défaut » et « avarie » ne sont pas toujours définis précisément. On appelle désordre tout problème, affectant un élément ou une partie d'ouvrage, se manifestant progressivement ou brutalement et qui dénote une évolution ; c'est un symptôme. Il se distingue du défaut qui est une imperfection ponctuelle ou systématique, le plus souvent acquise lors de la construction (défaut d'alignement des moellons d'une maçonnerie, déformation d'un anneau de béton liée à celle du coffrage...). Le terme d'avarie, employé en particulier dans le domaine ferroviaire, est à prendre dans la même acception que le terme désordre.

Pour le domaine routier, le CETU a élaboré le « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers » qui comporte un « Catalogue des désordres » rencontrés dans les tunnels routiers.

Il est complémentaire au document de référence intitulé « Catalogue des désordres en ouvrages souterrains », existant sous la forme d'un CD Rom joint aux Recommandations de l'AFTES (hors série n°3 de la revue TOS 2005).

Ces guides fournissent une distinction entre des causes de désordres internes et externes qui est complémentaire à la classification du chapitre 3.2.1.

Sans chercher l'exhaustivité, nous distinguons parmi les désordres courants,

- ceux qui nécessitent une action immédiate : citons, par exemple, les stalactites de glace, les effondrements, les flaches en chaussée ;
- ceux qui nécessitent une étude approfondie : citons, par exemple, l'écaillage mécanique et la fissuration ouverte indiquant un cisaillement.

Les exemples précédents sont illustrés sur la planche de la page suivante.



Stalactites de glace



Effondrement de maçonnerie



Écaillage mécanique de moellons



Flaches en chaussée



Fissures longitudinales ouvertes



Tympan cisailé d'un tunnel dans un versant instable

Figure 11 : Exemples de manifestations de désordres



3.2.3 - Des désordres à la pathologie

Les pathologies des tunnels découlent très souvent d'une association de désordres, plus rarement d'un seul d'entre eux. Ces désordres ont pu se cumuler et interagir au cours du temps, aggravant lentement une situation que des réparations fragmentaires n'ont pas réussi à améliorer. Il est donc important de ne pas interpréter les désordres isolément, mais de les confronter dans le cadre de plusieurs systèmes d'hypothèses prenant en compte tous les paramètres. Si des pathologies clairement identifiées se dégagent, il conviendra d'en hiérarchiser les conséquences (danger pour les usagers ou les riverains, risques pour les structures).

La gestion préventive d'un ouvrage repose d'abord sur une bonne connaissance de celui-ci (historique de la construction et des réparations successives, diagnostics périodiques, pathologies). Comme tout ouvrage d'art, un tunnel évolue en permanence ; sa surveillance régulière doit permettre de programmer et d'optimiser les actions nécessaires à sa conservation dans un état de service satisfaisant.

3.3 - Surveillance du génie civil

L'organisation de la surveillance d'un tunnel ayant été explicitée dans le chapitre 2, nous nous attachons ici aux modalités pratiques spécifiques aux diverses actions de surveillance pour les tunnels creusés courants.

3.3.1 - La surveillance continue

Par définition, la surveillance continue ne nécessite ni connaissance technique particulière, ni préparation approfondie.

Dans certains cas, le niveau organisationnel peut demander que, dans le cadre de la surveillance continue, une attention particulière soit portée aux zones qui font également l'objet d'une surveillance renforcée (désordres avérés...).

3.3.2 - Le contrôle annuel

Le contrôle annuel en tunnel creusé, conformément aux dispositions du chapitre 2, est le premier niveau de la surveillance organisée ; compte tenu des spécificités des tunnels (influence du terrain encaissant, de l'eau...) et des modalités de leur surveillance, il revêt un caractère particulier et nécessite une attention renforcée à plusieurs titres.

Organisation des visites

Compte tenu des modalités d'intervention en tunnel souvent délicates et du linéaire parfois important d'ouvrages à visiter, le service opérationnel est chargé d'adapter au contexte de son ouvrage l'organisation des visites. Quelle que soit son organisation, il doit s'assurer que chaque ouvrage ou partie d'ouvrage visitable (partie circulée, gaines de ventilation, galerie de sécurité) fait l'objet d'une visite spécifique une fois par an et que les observations sont reportées dans un procès-verbal de contrôle annuel.

Observations à effectuer

Le service organisationnel adapte les visites comme les observations à effectuer aux particularités de son ouvrage et aux éléments issus de la surveillance continue (points à surveiller, constats lors de patrouilles...).

Néanmoins, certains points doivent faire l'objet d'une observation attentive lors des contrôles annuels :

- le revêtement (notamment en clé et en rein),
- la chaussée et le trottoir (déformation, humidité, présence de débris...),
- le réseau de drainage et d'assainissement (propreté, encrassement, écoulement...),
- les joints entre plots ou voussoirs,
- les transitions entre structures (tube principal et galeries, section courante et ouvrages de tête, changement de types de revêtement...),
- les zones portant des équipements lourds,
- les appuis et cloisons de dalles de ventilation...

Pour les ouvrages de tête (ou autres ouvrages spécifiques), le maître d'ouvrage gestionnaire peut s'appuyer sur les fascicules de l'instruction technique et les guides méthodologiques IQOA des structures les composant pour adapter le contenu de leurs visites.

Compte-rendu

Le compte-rendu de contrôle annuel comprend obligatoirement l'ensemble des procès-verbaux de visites réalisées, ainsi qu'une synthèse du relevé permanent d'événements de l'année écoulée. Il peut être complété par les informations jugées pertinentes par le service opérationnel, notamment au regard des spécificités propres de son ouvrage (intempéries...).

Un cadre synthétique de procès-verbal de contrôle annuel est présenté en annexe au « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers », disponible sur le site internet du Centre d'études des tunnels (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).

3.3.3 - Inspections détaillées initiales, périodiques et exceptionnelles

Dans le chapitre 2, les inspections détaillées initiales et périodiques sont décrites comme les rouages essentiels de la surveillance des tunnels. Nous présentons ici les modalités pratiques des inspections et les points de vigilance propres aux tunnels creusés afin de permettre au maître d'ouvrage gestionnaire de réaliser ces inspections avec le plus d'efficacité possible.

Compte tenu de la similitude en termes d'organisation, d'intervention et de finalités, nous incluons également les inspections détaillées exceptionnelles.

Intervenants

Pour les tunnels creusés, l'implication du terrain encaissant est beaucoup plus grande que pour les autres ouvrages d'art. Le revêtement et le terrain constituent une structure géotechnique originale dont le comportement n'est ni celui du terrain seul, ni celui d'une voûte isolée. En conséquence, les organismes intervenant lors des inspections détaillées doivent systématiquement garantir au maître d'ouvrage gestionnaire leur capacité à analyser les désordres avec le double regard du géotechnicien et du spécialiste en structure.

Organisation

De la même manière que pour le contrôle annuel, le service organisationnel a la responsabilité d'organiser les interventions nécessaires à la réalisation d'une inspection détaillée. Il est important de faire procéder, autant que possible, au nettoyage des éléments structurels du tunnel, ainsi qu'au démontage des habillages des piédroits peu avant l'intervention.

L'attention est attirée sur le fait que cette intervention doit faire l'objet d'une préparation rigoureuse en vue de faciliter et d'optimiser le travail des spécialistes mais également en vue de garantir leur sécurité. Dans ce cadre, le service organisationnel doit s'attacher, pour chaque intervenant (plusieurs spécialistes peuvent être nécessaires pour inspecter un tunnel complet), à préciser par ouvrage ou tronçon :

- les modalités d'intervention (restriction ou interruption de circulation, accès, horaires...),
- les moyens nécessaires (nacelle, éclairage...),
- l'intervention commune avec un autre spécialiste...

La coordination nécessaire pour une réalisation efficace et optimisée des interventions peut être réalisée en régie ou externalisée en fonction des contextes.

Dans le cas d'une inspection détaillée initiale, l'intervention peut éventuellement être réalisée en plusieurs phases, certains aménagements ultérieurs conduisant à cacher ou rendre difficiles d'accès des parties de structures importantes à connaître.

Ceci implique d'insérer cette inspection dans la planification prévue pour l'installation des équipements du tunnel (accélérateurs, chemins de câbles, éclairage), la mise en place d'habillages, la mise en œuvre de produits de protection ou la mise en peinture du revêtement.

Cette action est différente des examens prévus dans le cadre des opérations préalables à la réception d'un tunnel. Elle doit être réalisée préalablement à la mise en service et ses conclusions peuvent être utiles pour procéder à la réception de l'ouvrage.

Contenu, modalités

Le contenu, les modalités et les moyens d'une inspection détaillée sont définis dans le « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers » édité par le CETU et disponible sur son site internet (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).



Figure 12 : Le camion-nacelle du CETU en cours d'inspection

L'établissement et la représentation des relevés d'intrados s'effectuent suivant une codification qui est détaillée dans ce même guide.

Toutes les parties constitutives d'un tunnel doivent être inspectées avec la périodicité fixée par le service décisionnel. Une inspection détaillée peut être l'occasion d'en réviser la périodicité.

La visite de certains ouvrages annexes peut présenter de sérieuses difficultés de mise en œuvre, soit parce que l'accès n'est pas possible sans travaux importants de démontage préalable d'obstacles (grilles de protection ou déflecteurs en sortie des usines de ventilation), soit parce que les moyens d'inspection à mettre en œuvre sont lourds (puits, gaines surbaissées, collecteurs noyés, réseaux non visitables de petite section...). Pour ces parties d'ouvrages, l'approche pragmatique consiste à proportionner les moyens aux besoins. Lors de l'inspection détaillée, l'observation peut être faite « de loin » (depuis le haut et le bas d'un puits, par exemple) avec un bon éclairage. Si cet examen ne montre pas d'anomalie, et si par ailleurs la surveillance continue

et les contrôles annuels ne mettent pas en évidence de dysfonctionnement, le service organisationnel, sur proposition du spécialiste, peut reporter l'examen exhaustif, à condition que les dispositifs non visités n'aient pas un rôle capital ou que les désordres pouvant les affecter n'entraînent pas de risque pour la sécurité. En tout état de cause, ces parties doivent être examinées en détail, au moins lors d'une inspection sur deux, par exemple en organisant une campagne de vidéo-endoscopie dans les réseaux non visitables (drainage ou assainissement) et en fournissant les résultats aux intervenants concernés.

Les ancrages des équipements lourds suspendus au dessus du trafic (groupes moto-ventilateurs, PMV) doivent faire l'objet d'un examen visuel lors des inspections détaillées. Ce domaine, situé à l'interface entre génie civil et équipements, est contrôlé lors des visites de maintenance des équipements. Par ailleurs, des tests de tenue des ancrages par échantillonnage sont prévus au moins une fois tous les 3 ans sur le quart des ancrages d'un ouvrage : cela conduit à tester chaque ancrage tous les 12 ans au maximum. Cependant, il est nécessaire que les inspecteurs des structures continuent à procéder de leur côté à cet examen, afin d'apporter un regard différent et complémentaire à celui des agents en charge de la surveillance des équipements. L'examen porte sur l'environnement (venues d'eau, concrétions, décollement des consoles), sur les têtes des boulons (corrosion, traces de rouille), sur la structure porteuse (fissures, écailles, altération du matériau).

Dans le cas d'une inspection détaillée initiale, l'intervention doit être encore plus minutieuse. Pour un tunnel neuf comme après des réparations structurelles lourdes, elle doit être précédée d'une consultation approfondie du dossier d'ouvrage.

Un des objectifs est de faire apparaître les particularités ou anomalies qui ne sont pas forcément des défauts graves. Ainsi, ayant été identifiés à l'origine, ces défauts n'apparaissent pas lors des inspections ultérieures comme le résultat d'une évolution pathologique. Une opération à mener, en particulier dans les tunnels en béton coffré, est l'auscultation sonore (au marteau) effectuée de façon systématique sur le revêtement, dans le but de mettre en évidence par un « son creux » les zones de clivage incomplet (situées généralement en partie supérieure de la voûte), de décollement de la feuille d'étanchéité située normalement à l'extrados, ou d'autres sections où le revêtement est aminci. Lors des inspections ultérieures, l'investigation sonore peut être moins exhaustive et guidée par l'observation d'autres indices.

Pour un tunnel ancien, si l'on ne dispose ni de rapport d'inspection antérieur avec des relevés détaillés d'intrados, ni de dossier d'ouvrage, le maître d'ouvrage gestionnaire doit faire réaliser par ses services et par l'équipe d'inspection une recherche et une consultation approfondies des archives disponibles.

Il peut arriver que, malgré tout, pour certaines parties d'ouvrage, l'inspection ne permette pas de définir exactement leur nature ou leur constitution. Dans ce cas, pour expliquer les anomalies ou désordres, le spécialiste propose au maître d'ouvrage gestionnaire de faire réaliser des investigations complémentaires (sondages, reconnaissances non destructives) pour conclure sur l'état de l'ouvrage.

Ces considérations impliquent que l'inspection soit menée par des agents très au fait des techniques et matériaux utilisés lors de la construction, mais aussi des pathologies des tunnels ou de celles d'ouvrages de même type. Le service organisationnel doit donc attacher une attention toute particulière à la compétence des intervenants.

Compte-rendu

Le rapport d'inspection détaillée doit être rédigé conformément au cadre défini dans le « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers » édité par le CETU et disponible sur son site internet (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr). Le service organisationnel adapte la forme et les modalités de synthèse en fonction de la complexité de son ouvrage et du nombre de spécialistes qu'il fait intervenir pour réaliser l'inspection détaillée.

En complément au rapport et dans la continuité de l'intervention, une réunion sur site entre le service opérationnel et les spécialistes peut être envisagée, notamment pour les ouvrages importants, complexes ou sensibles. Cette réunion est utile pour :

- évaluer et discuter des éventuelles mesures conservatoires urgentes à mettre en œuvre,
- confronter les premiers éléments de constats et/ou d'analyse,
- visualiser les faits marquants et/ou les points à surveiller,
- discuter des compléments d'informations ou de documentations éventuellement nécessaires à la finalisation du rapport,
- évoquer l'évaluation de l'état de l'ouvrage.

3.3.4 - Évaluation et cotation de l'état du génie civil

Comme cela est spécifié dans le chapitre 2, l'évaluation du génie civil est de la responsabilité du maître d'ouvrage gestionnaire sur proposition du spécialiste. Quelle que soit la méthodologie utilisée, l'évaluation des tunnels creusés doit comprendre l'analyse des éléments suivants :

• L'état des structures

L'évaluation doit permettre d'apprécier les zones présentant un état homogène en terme de désordres affectant les structures principales et secondaires du tube.

• La présence de l'eau

L'évaluation doit permettre d'apprécier les zones présentant des venues d'eau selon leurs conséquences vis-à-vis de l'exploitation de l'ouvrage.

Quelles que soient l'origine et l'importance du désordre, s'il présente une conséquence pouvant mettre en cause la sécurité des usagers, il doit faire l'objet d'une mention spécifique afin de permettre un traitement adéquat.

La méthodologie IQOA tunnels permet une approche adaptée au contexte des tunnels tout en restant homogène en terme de classes d'état avec les méthodologies IQOA ponts et murs. Elle est détaillée dans le « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers » édité par le CETU et disponible sur son site internet (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr). Ce guide fournit aussi un exemple théorique de découpage et d'évaluation de l'état du génie civil d'un ouvrage.

Ces cotations conduisent à la définition de zones telles qu'elles sont décrites au point 2.2.3.

3.3.5 - Actions complémentaires de surveillance et de diagnostic

Les observations visuelles et sonores des parements effectuées au cours des inspections détaillées sont parfois insuffisantes pour établir un diagnostic de l'état de la structure, et il faut alors mettre en œuvre une auscultation, qui regroupe un certain nombre d'investigations destinées à approfondir la connaissance de l'ouvrage et de son fonctionnement.

Les investigations à mener doivent être définies dans un programme établi sous la responsabilité du service organisationnel, en collaboration avec des organismes spécialisés si nécessaire, et conformément aux instructions du fascicule 3 de l'ITSEOA.

Pour la commodité de la présentation, on distingue :

- les reconnaissances destructives ou semi-destructives,
- les reconnaissances non destructives,
- les auscultations métrologiques.

Concernant les reconnaissances destructives et non destructives, on peut se référer aux recommandations de l'AFTES – Groupe de travail n°14 - « Les méthodes de diagnostic pour les tunnels revêtus » (revue TOS n°131 de septembre-octobre 1995).

Concernant l'auscultation des tunnels, les principales méthodes sont détaillées dans les recommandations de l'AFTES – Groupe de travail n°19 - « Les méthodes d'auscultation des tunnels ».

Reconnaisances destructives

Les reconnaissances destructives conduisent à percer le revêtement. Si elles s'arrêtent avant l'extrados, elles peuvent être appelées semi-destructives. Elles sont indispensables pour prélever des échantillons dans le revêtement ou dans le terrain et pour étalonner les reconnaissances non destructives qui sont évoquées par la suite.

Pour les tunnels avec une étanchéité d'extrados, ce type de reconnaissance doit rester exceptionnel car il conduit généralement au percement du complexe d'étanchéité sans possibilité de réfection satisfaisante.

On distingue :

- les sondages destructifs avec diagraphies instantanées et endoscopie,
- les sondages carottés, permettant les essais en laboratoire sur échantillons,
- les fenêtres d'auscultation,
- les mesures de contraintes :
 - méthode par substitution (vérin plat),
 - méthode par relâchement local des contraintes en fond de forage.

Ces reconnaissances doivent être suivies d'une remise en l'état.

Reconnaisances non destructives

On appelle non destructives les reconnaissances qui sont conduites sans porter atteinte à l'intégrité de l'ouvrage. Certaines permettent d'effectuer une investigation pratiquement continue d'un ouvrage et en particulier de détecter des anomalies qu'il convient ensuite de reconnaître de manière destructive. Il est en effet nécessaire d'étalonner ces méthodes par des sondages.

Les méthodes les plus éprouvées en tunnel sont les suivantes :

- Radar géologique : cette méthode permet en particulier de mettre en évidence l'absence de contact entre l'extrados du revêtement de la voûte et le terrain s'il n'y a pas collage entre les deux ; l'interprétation des images demeure néanmoins délicate.
- Relevés scanner en lumière visible ou infrarouge : ces relevés donnent une image objective et exhaustive d'une voûte, acquise au cours du passage d'un engin circulant à petite vitesse dans le tunnel et sur lequel est fixé un scanner tournant.
 - La voie visible est un dispositif actif : le scanner éclaire la paroi par un faisceau laser tournant et reçoit le signal rétrodiffusé par la paroi. Le résultat peut être représenté sous forme d'images en noir et blanc. La résolution permet de voir des fissures de quelques dixièmes de millimètre.
 - La voie infrarouge est un système passif : le scanner enregistre le rayonnement thermique émis naturellement

par la paroi du tunnel. Cette méthode permet de détecter des circulations d'eau (ou d'air) situées dans le revêtement de la voûte ou à son extradós.

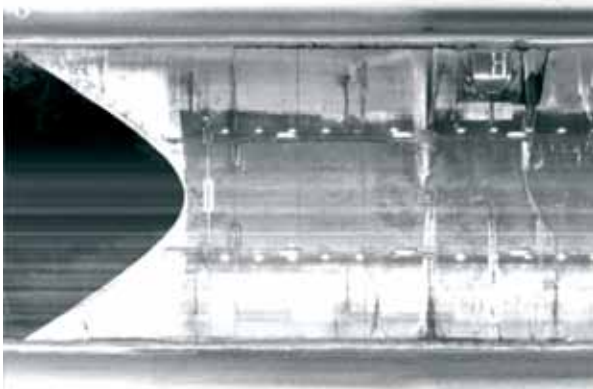


Figure 13: Image d'une entrée en tunnel obtenue par relevé scanner en lumière visible - Tête ouest du tunnel des Monts (tube sud) à Chambéry

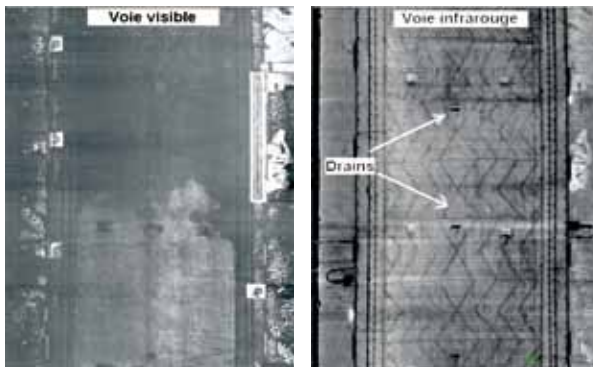


Figure 14: Image de la même section de voûte, en lumière visible à gauche, dans l'infrarouge à droite (révélant les drains masqués par l'enduit)

D'autres méthodes pouvant être employées pour répondre à des questions spécifiques sont simplement mentionnées ici : microgravimétrie, ultrasons, impédance mécanique, résistivité électrique, microsismique-réfraction.

Auscultations métrologiques

Nous entendons ici par auscultation métrologique la mesure des grandeurs physiques généralement fournies par une instrumentation mise en place dans l'ouvrage, soit lors de la construction, soit ultérieurement en cours d'exploitation.

Cette instrumentation peut être mise en place à titre préventif dans le cas d'ouvrages ou de sections d'ouvrages dont on veut contrôler l'évolution parce qu'ils traversent des terrains de déformabilité assez importante, ou parce que la structure fait l'objet d'adaptations liées à des aléas au creusement. Mais elle peut également être mise en place en cours d'exploitation suite à la constatation de désordres signifiant un comportement anormal de la structure.

L'auscultation métrologique inclut la topométrie, que le guide technique « Topométrie (fascicule 04) » définit comme l'ensemble des opérations techniques permettant d'établir un réseau de points de mesures adaptés au fonctionnement attendu d'un ouvrage. En tunnel, les mesures topométriques les plus usuelles sont les suivantes :

- le nivellement de haute précision ;
- la profilométrie : cette méthode, qui est utilisée systématiquement pour le contrôle de l'excavation des tunnels en cours de creusement, permet également de vérifier le gabarit d'ouvrages existants, en vue de travaux par exemple ;
- les mesures de convergences : elles consistent à déterminer sur une section de l'ouvrage les variations relatives de distance entre des repères scellés dans les parements ; les mesures faites au fil invar permettent une précision de l'ordre de 0,3 mm ; les mesures optiques permettent une précision de 0,5 à 1 mm ;
- l'extensométrie en sondage : cette méthode peut compléter utilement un profil de convergence en fournissant des valeurs de déplacement que l'on peut considérer comme absolues si l'on fait l'hypothèse que le terrain est stable à partir d'une certaine distance au souterrain ;
- les mesures de déformation du parement par extensométrie (cordes vibrantes) ;
- les mesures fissurométriques : il convient d'utiliser des appareils tridimensionnels ; la mesure simultanée de la température doit être associée à celle des fissuromètres ;
- les mesures de pression :
 - pression de contact avec le terrain,
 - pression hydrostatique.

On peut également évoquer les mesures faites sur les venues d'eau. Les caractéristiques aisément mesurables sont le débit, la température, la conductivité électrique (minéralisation de l'eau). Les indices d'une évolution peuvent être :

- la variation de débit,
- l'apparition ou la disparition du point d'émergence,
- la charge solide,
- l'évolution de la conductivité.

Certaines de ces investigations peuvent être réalisées en préalable ou en appui aux inspections détaillées (relevés scanner en lumière visible par exemple), ou à leur occasion (suivi des venues d'eau).



Figure 15 : Fissuromètre tridimensionnel



Figure 16 : Mesure de convergence au fil Invar

3.4 - Entretien et réparations

Les tunnels creusés sont des milieux confinés pour le personnel et l'usager. La consistance des travaux d'entretien doit être adaptée en conséquence. Parmi ceux-ci, on distingue l'entretien courant qui comporte des opérations techniques simples et généralement peu coûteuses et l'entretien spécialisé qui exige une technicité particulière et, souvent, le recours à des entreprises extérieures. L'entretien courant se distingue de la réparation qui est toujours corrective. La délimitation entre les travaux d'entretien spécialisé et les réparations est moins nette que pour d'autres catégories d'ouvrages.

3.4.1 - Entretien courant

L'entretien courant est une action systématique demandant peu de moyens et peu de technicité. Il doit être réalisé de façon régulière en liaison étroite avec la surveillance du réseau routier. Il est à réaliser ou à faire réaliser par le service opérationnel. Certaines opérations peuvent cependant nécessiter des moyens importants.

Les principaux travaux d'entretien courant sont :

- le nettoyage des dispositifs d'écoulement des eaux (barbacanes, fossés, caniveaux, drains...),
- le nettoyage de la chaussée, l'enlèvement des dépôts qui se créent sur les rives de la chaussée,
- le nettoyage des trottoirs et dallettes,
- l'entretien des têtes (élimination de toutes végétations, blocs éboulés...),
- le maintien en état des accès de visite.

Ils sont :

- soit programmés sur la base des recommandations des consignes d'entretien (voir le dossier d'ouvrage) ou des constatations faites lors des actions de surveillance,
- soit réalisés dès que possible, après constatations d'anomalies signalées sur le relevé permanent d'événements, lorsque cela s'avère nécessaire pour assurer les conditions de sécurité de l'exploitation.



Figure 17 : Grillage de protection à purger

3.4.2 - Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé, contrairement à l'entretien courant, concerne des opérations :

- qui nécessitent des moyens particuliers dont ne dispose pas le maître d'ouvrage gestionnaire, tant pour leur exécution que pour la protection du chantier (lavage des piédroits, hydrocurage des réseaux de drainage, changement de joint d'étanchéité par exemple),
- qui relèvent de techniques spéciales (traitement d'étanchéité, rejointoiement, scellement de moellons désolidarisés, ragréages limités...),
- qui requièrent une analyse préalable par un spécialiste (définition des purges dans un tunnel au rocher).



Figure 18 : Lavage des piédroits



Figure 19 : Matériel pour l'hydrocurage des réseaux de drainage

Concernant essentiellement les sections de tunnels encore non revêtues, les opérations d'entretien spécialisé doivent être réalisées avec la plus grande circonspection car elles peuvent conduire à déstabiliser certains éléments structuraux.

Il y a alors lieu de faire appel à des organismes ou des entreprises spécialisées.



Figure 20 : Conditions de sécurité insuffisantes lors d'une opération de purge manuelle dans un tunnel en exploitation

Même les opérations d'importance modeste sont à programmer et à réaliser dans les conditions conformes aux consignes de protection et de sécurité prévues au dossier des interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

Les travaux doivent être préparés et exécutés avec beaucoup de soin, sous couvert d'un plan d'assurance de la qualité (PAQ) et avec les contrôles inhérents à chaque nature d'intervention. Ces contrôles, même sommaires, réalisés par un spécialiste averti, s'avèrent nécessaires dans la plupart des cas. En effet, l'expérience enseigne que les travaux simples sont plus complexes qu'il ne paraît à première vue et peuvent donner lieu à bien des déboires.

L'exécution des travaux peut être l'occasion de constater des anomalies qui auraient échappé à la surveillance courante. Dans ce cas, elles doivent être consignées dans le relevé permanent d'événements.

Toute opération réalisée doit également faire l'objet d'un document synthétique à inscrire au relevé permanent d'événements et d'un sous-dossier à ajouter au dossier d'ouvrage.

3.4.3 - Réparation et amélioration

En tunnel creusé, les pathologies se manifestent souvent à travers plusieurs désordres et les travaux de réparation sont, la plupart du temps, des opérations complexes. En conséquence et quel que soit le type de travaux envisagé, il est primordial de connaître précisément la structure de l'ouvrage et la nature du terrain encaissant, afin de garantir la pertinence des réparations. À ce titre, il peut s'avérer nécessaire de recourir à des reconnaissances géologiques afin de compléter la connaissance de l'ouvrage en lien avec les besoins spécifiques aux travaux envisagés.

Nous citons ici les principaux objectifs couramment visés par les réparations en tunnel et indiquons pour chacun les principales techniques utilisées à l'heure actuelle. Nous rappelons au maître d'ouvrage qu'il ne s'agit ici que d'apports techniques informatifs qu'il doit mettre en œuvre suivant la méthodologie indiquée au chapitre 2 et, souvent, avec l'aide de spécialistes :

- **Renforcement du revêtement et/ou de la structure (excès de contraintes, défaut de conception, altération...)**

Nous pouvons citer ici la mise en œuvre de cintres à l'intrados, le boulonnage au massif, les injections (collage, régénération de terrain...) ou la mise en œuvre d'un nouveau revêtement en béton projeté ou coffré, associé le cas échéant à une étanchéité par géomembrane.

En parallèle de ces techniques « classiques » dont la principale difficulté réside dans le dimensionnement et le maintien du gabarit, nous pouvons aussi évoquer les techniques innovantes incluant les mortiers modifiés ou résines (bétons à résistance initiale garantie) et les tissus en fibres composites (verre, carbone...).



Figure 21 : Renforcement de tunnel par béton projeté

• Traitement des venues d'eau

Il s'agit sans doute de la réparation la plus délicate à mettre en œuvre, puisque l'intervention se fait par l'intrados. Les techniques visent soit le drainage (couvre-joint, exhaure, barbacanes...), soit le colmatage ponctuel (injection...), soit l'étanchéité totale (étanchéité et chemisage). Si la dernière solution offre à l'évidence les meilleures garanties, elle est généralement très coûteuse et complexe à mettre en œuvre notamment pour des raisons de gabarit. Les autres solutions peuvent être bien adaptées dans des contextes particuliers (venue d'eau ponctuelle, protection d'un équipement sensible) mais ne garantissent que rarement un résultat définitif et complet (déplacement des venues d'eau suite à injections...).

Enfin, quelle que soit la solution utilisée, le maître d'ouvrage doit s'assurer qu'elle est adaptée à son ouvrage (protection au gel en altitude ou en tête...), qu'elle n'engendre pas de risque d'instabilités à court ou moyen terme et qu'elle permet un entretien garantissant son fonctionnement.



Figure 22 : Coffrage pour bétonnage après alésage et étanchement général

• Travaux d'amélioration

Les travaux d'amélioration en tunnel, qu'ils visent la sécurité ou l'exploitation (augmentation de gabarit, mise en œuvre d'équipements nouveaux...), impactent le plus souvent le génie civil. Lorsqu'ils sont entrepris, ils doivent faire l'objet d'une attention particulière, notamment en ce qui concerne la stabilité en phase de travaux, le fonctionnement structurel (revêtement autour d'une niche par exemple) et la durabilité.

Les travaux couramment rencontrés sont le creusement de niches et de galeries, les alésages, la mise en œuvre de ventilateurs, de conduites incendie, la pose de protections thermiques...

La pose de protections thermiques diminue fortement les possibilités d'observation des désordres structuraux. En conséquence, la surveillance globale de la structure doit intégrer cette contrainte en recherchant l'optimisation des actions. La réflexion doit notamment porter sur les « points faibles » (appuis, ancrages, zone de flexion, joints de construction...) qui constituent des lieux préférentiels pour l'apparition de pathologies. Le maître d'ouvrage gestionnaire doit donc rechercher le meilleur niveau de surveillance possible tout en conservant à l'esprit qu'il ne permet plus une observation exhaustive de la structure.

• Stabilité de l'ouvrage pendant les travaux

L'étude détaillée de la réparation doit prendre en compte la nécessité d'assurer la stabilité de l'ouvrage lors de toutes les phases. Les recommandations qui suivent sont particulièrement adaptées aux travaux en tunnel.

Sauf pour les travaux légers, il est souvent nécessaire de faire précéder un chantier en tunnel par la mise en place d'un soutènement provisoire de l'ouvrage. Celui-ci doit être soigneusement étudié en fonction de l'état prévisible des parties cachées en s'aidant, le cas échéant, des résultats des reconnaissances.

Lorsqu'il s'agit de travaux intéressant le revêtement de l'ouvrage sur une certaine profondeur, il est indispensable de ne procéder que par petites parties non voisines l'une de l'autre (plots alternés), ou par anneaux de faible longueur. L'importance des surfaces intéressées est à déterminer en fonction de l'incidence possible des travaux sur la stabilité de l'ouvrage. Certains travaux, tels que la réfection de la chaussée, l'augmentation de la hauteur du gabarit ou l'exécution de caniveaux d'écoulement des eaux et de drainage, nécessitent des fouilles profondes ; il convient dans ces cas de porter attention aux conséquences éventuelles sur la stabilité de l'ouvrage lors du déchaussement des piédroits et, s'il est impossible de l'éviter, de limiter strictement les longueurs découvertes (4 à 5 m au maximum) même en l'absence de poussées. Lorsqu'il est vraisemblable que des poussées horizontales importantes s'exercent sur les piédroits, il peut s'avérer nécessaire de mettre en œuvre le butonnage ou l'ancrage par boulonnage des parements.

Lorsque les travaux nécessitent des démolitions, excavations ou purges importantes, toutes les dispositions utiles doivent être prises pour rétablir, et même au-delà, la fonction de portance des parties supprimées : mise en œuvre de cintres métalliques, de boulons, de béton projeté, d'injections, complétés au besoin par des étalements, des blindages, des butons... au fur et à mesure de l'avancement, en vue d'éviter la ruine partielle ou totale de l'ouvrage.

D'une façon générale, pendant l'exécution des travaux, tous les signes pouvant permettre de déceler des mouvements anormaux du terrain et du revêtement doivent être notés en détail et leur évolution faire l'objet d'une observation continue avec tous les moyens appropriés : photographies, pose de témoins et de fissuromètres, mesures des déformations, des convergences, éventuellement des contraintes et, en ce qui concerne la surface du sol dans la zone d'influence de l'ouvrage, pose de tassomètres et nivellements de précision. Le journal de chantier doit contenir in extenso toutes les observations faites. En fin de chantier, elles sont consignées avec le plus grand soin dans le dossier d'ouvrage.

• **Les conditions d'exploitation**

Le phasage des travaux et les conditions de circulation dans l'ouvrage doivent faire l'objet d'une attention toute particulière pour garantir la sécurité des usagers et des intervenants, ainsi que la qualité des travaux.

• **Hygiène et sécurité pendant les travaux**

Les travaux souterrains présentent des particularités en plus des caractéristiques habituelles aux chantiers : l'amplification des risques liés au confinement (bruit, qualité de l'air...), l'exiguïté du poste de travail, le travail en lumière artificielle, l'importance de la ventilation du chantier, l'exposition aux risques liés au terrain et à la profondeur (température, humidité...). Il convient donc d'accompagner l'ensemble du projet d'une réflexion spécifique sur les risques liés aux travaux.

Les seuils à respecter pour les chantiers de creusement sont définis dans une recommandation de l'AFTES (GT 27 – Recommandations du TOS n°176 de 2003) avec les prescriptions de la CRAM et de l'OPPBT. Pour les conditions de travail en mode d'exploitation courante (interventions de maintenance notamment), les seuils à respecter sont ceux publiés par l'INRS (Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France).

4 - Dispositions spécifiques au génie civil des tranchées couvertes

Ce chapitre est destiné à illustrer et préciser les actions réglementaires de surveillance et d'entretien du génie civil, décrites dans le chapitre 2, pour les cas les plus courants rencontrés en tranchées couvertes. Il n'a pas vocation à être exhaustif, mais à préciser les principaux éléments techniques qui permettent de mieux appréhender les dispositions à prendre en compte dans les cas les plus courants.

S'agissant d'une catégorie hétérogène de structures, nous organisons ce chapitre comme un complément méthodologique au cas des tunnels creusés. Le maître d'ouvrage gestionnaire se charge, pour chaque cas particulier, de se référer aux fascicules ou aux documents réglementaires correspondant à la structure de sa tranchée couverte.

4.1 - Ouvrages et parties d'ouvrages concernés

Ce chapitre s'intéresse, en plus des tranchées couvertes au sens strict, aux différentes structures qui leur sont assimilées comme les couvertures situées hors sol, les couvertures partiellement ouvertes, les semi-couvertures, les paravalanches, les couvertures acoustiques et les caissons immergés.



Figure 23 : Damier phonique



Figure 24 : Tranchée couverte



Figure 25 : Couverture

La tranchée couverte comprend l'ensemble des ouvrages nécessaires à son exploitation, à son fonctionnement et à sa sécurité.

STRUCTURE PRINCIPALE

Tranchées couvertes

Les tranchées couvertes comprennent une section courante constituée d'un ou plusieurs tubes, les niches de sécurité et d'incendie et tout le génie civil de second œuvre.

Ouvrages d'extrémités

Il s'agit des murs anti-recyclage, des murs de soutènement d'extrémité s'ils sont reliés par un radier (cuvelage), les dispositifs de type paralume...

STRUCTURES ANNEXES

Aménagements pour l'évacuation et la protection des usagers et l'accès des secours

Ces aménagements regroupent les communications directes avec l'extérieur, les communications entre tubes, les galeries de sécurité parallèles, les abris et cheminements, les galeries de retournement et les garages.

Ouvrages annexes liés à l'exploitation

Cela correspond au génie civil des stations de ventilation ou de relevage des eaux, des locaux pour les équipements, des bâches de rétention.

4.2 - Parties constitutives du génie civil d'une tranchée couverte

Le génie civil d'une tranchée couverte est composé :

- d'une structure participant à sa stabilité et à sa résistance comprenant des piédroits latéraux, éventuellement des appuis intermédiaires, une couverture et d'autres éléments transversaux éventuels (radiers, planchers intermédiaires, butons...),
- des équipements de génie civil,
- des ouvrages annexes.

4.2.1 - La structure

La structure dépend essentiellement :

- des contraintes géologiques et géotechniques (fondations superficielles ou profondes),
- des contraintes hydrogéologiques (radier ancré, bouchon de gros béton...),
- des contraintes environnementales,
- du mode de construction retenu (fouille talutée ou soutènement provisoire, terrassement en taupe...),
- des surcharges appliquées sur la dalle (charges routières, remblais, charges piétonnières...),
- du type de ventilation mis en place.

Les principales variantes structurelles sont :

- le type de fondations
 - superficielles sur semelles,
 - profondes sur pieux,
 - parois moulées coulées en place ou parois préfabriquées,
 - palplanches.

- le type de couvertures
 - dalles en béton armé ou précontraint encastées sur les piédroits,
 - dalles en béton armé ou précontraint simplement appuyées,
 - poutres en béton armé ou précontraint simplement appuyées,
 - poutrelles métalliques enrobées,
 - poutres en acier,
 - couvertures légères.
- le type de radiers (le cas échéant)
 - radiers encastés dans les piédroits,
 - radiers poids,
 - radiers ancrés dans le sol de fondation,
 - radiers drainants.

Pour plus de détails, le lecteur pourra se reporter au chapitre 3 du « Guide pour la conception générale du génie civil des tranchées couvertes » édité par le Sétra (www.setra.developpement-durable.gouv.fr).

Les appareils d'appui sont considérés comme faisant partie intégrante de la structure.

4.2.2 - Les équipements de génie civil

Les équipements de génie civil sont, le plus souvent, indissociables de la structure et/ou non remplaçables. Ils sont destinés à assurer la sécurité et le confort des usagers, faciliter la surveillance et l'entretien des ouvrages, les protéger des agressions extérieures ou en améliorer l'esthétique.

Ils comprennent :

- les éléments architecturaux (corniches, parapets, masques...),
- les dispositifs de limitation de gabarit,
- les dispositifs de sécurité (glissières métalliques ou en béton),
- les gaines de ventilation,
- les parements rapportés,
- les dispositifs d'assainissement des eaux de ruissellement ou des matières dangereuses...

4.2.3 - Les ouvrages annexes

Ce sont par exemple :

- les locaux techniques liés à la structure,
- les bâches de rétention,
- les stations de pompage et de relevage,
- les issues de secours.

4.3 - Notions sur les causes et la nature des désordres

Les structures de tranchées couvertes rencontrées sont en général similaires aux structures des autres ouvrages d'art. Leur particularité provient de leur longueur et de l'importance accrue du terrain, ainsi que des conditions hydrogéologiques environnantes. En conséquence, nous n'exposons ici que les facteurs d'influence et les désordres particulièrement sensibles en tranchées couvertes.

Par ailleurs, nous n'évoquons pas les structures particulières, comme les couvertures phoniques, dont les spécificités impliquent une étude propre à chacune d'entre elles.

4.3.1 - Les causes

Les désordres observés dans les tranchées couvertes ont de nombreuses origines qui se regroupent en trois familles principales.

4.3.1.1 - Environnement

Sol

L'interaction entre le sol et la structure d'une tranchée couverte est encore plus importante que pour un pont. Une connaissance insuffisante de la géologie, de la géotechnique et de l'hydrogéologie de l'environnement peut aboutir à une mauvaise conception de l'ouvrage. Dans ce cas, des désordres peuvent vraisemblablement apparaître à plus ou moins long terme.

Exploitation en surface

Les dalles des tranchées couvertes sont dimensionnées pour reprendre des charges spécifiques, routières ou non. Des désordres décelés au niveau de l'intrados de la structure peuvent trouver leur origine dans le non-respect de ces charges. Le dossier d'ouvrage doit comporter tout renseignement sur les charges et aménagements tolérés en surface, faute de quoi des incompatibilités peuvent survenir. Lorsque l'aménagement et l'entretien en surface incombent à un gestionnaire ou à un maître d'ouvrage différent, la convention de gestion doit définir précisément les conditions d'exploitation et les usages possibles en surface.

Influence de l'eau

Comme tout ouvrage enterré, les tranchées couvertes sont souvent confrontées à des venues d'eau (nappes, infiltration d'eaux de surface...), en construction comme en exploitation. Le traitement de leur étanchéité revêt alors une importance particulière.

Les discontinuités des structures (joints entre dalles, interfaces dalles-piédroits et piédroits-radiers) sont en

général des points faibles de l'étanchéité. Un drainage insuffisant au droit de ces singularités peut alors être source de venues d'eau.

4.3.1.2 - Construction d'une tranchée

Phase provisoire

Il est courant de voir les piédroits des tranchées couvertes jouer le rôle de soutènement en phase provisoire. Une mauvaise prise en compte du phasage de réalisation peut conduire à des déplacements trop importants des piédroits : des fissures et des désordres au niveau des joints de parois peuvent alors apparaître.

Réalisation

Le non-respect des règles de l'art et des spécifications du marché sont des causes de désordres et malfaçons pour les tranchées couvertes comme pour tout autre ouvrage.

Pour certains ouvrages construits au contact du sol, les désordres peuvent notamment provenir de matériaux de qualité insuffisante (boue, béton...), d'une mauvaise mise en œuvre du béton, d'un curage de fond de fouille mal réalisé.

Dans tous les cas, il est important de noter que seuls des dossiers de récolement correctement complétés et archivés permettent une analyse efficace de l'état de la structure.

4.3.1.3 - Vie de l'ouvrage

Manque d'entretien

L'insuffisance ou l'absence d'entretien d'une tranchée couverte est un facteur de vieillissement accéléré des structures, qui se traduit tôt ou tard par des désordres graves :

- soit par la mise en cause directe de la sécurité des usagers,
- soit parce qu'elles entraînent de gros travaux de réparation.

Comme en tunnels creusés, faute d'un entretien suffisamment fréquent, certains réseaux de drainage se colmatent très rapidement, générant des désordres dans la structure ou en chaussée (remontées d'eau, soulèvement des chaussées).

En particulier, des désordres au niveau de la tranchée peuvent trouver leur cause dans un défaut d'entretien des aménagements de surface, des réseaux ou des voiries situés dans sa zone d'influence.

Réparations mal conçues ou mal exécutées

Les réparations mal conçues ou mal exécutées peuvent créer de nouveaux désordres, voire aggraver l'état de l'ouvrage.

Actions du trafic

Il peut exister des interactions entre les désordres d'une tranchée couverte et son trafic.

Les actions permanentes du trafic peuvent être :

- la circulation d'air pollué (facteur agressif pour les équipements et parfois les revêtements eux-mêmes),
- les sollicitations exercées par la circulation lourde sur les chaussées,
- les projections de sels de déverglaçage...

Les actions accidentelles du trafic peuvent être :

- des frottements répétés des véhicules hors gabarit en intrados de la traverse supérieure,
- des chocs plus importants,
- des incendies aux conséquences très variables, selon leur importance et leur durée, et qui peuvent entraîner une diminution des caractéristiques mécaniques des matériaux et de la résistance des structures...



Figure 26 : Risque d'obturation du conduit d'évacuation sur la couverture de surface

4.3.2 - Manifestations des désordres

Toutes les causes identifiées ci-dessus conduisent à de nombreux désordres.

On peut distinguer :

Les désordres de structure non spécifiques

Une tranchée couverte étant, dans la plupart des cas, la reproduction longitudinale d'un ouvrage classique, l'association de plusieurs types courants d'ouvrages ou la conjugaison de soutènements et de dalles, les désordres rencontrés sont répertoriés dans les documents techniques habituellement utilisés, et notamment les catalogues IQOA-Ponts et IQOA-Murs.

Les désordres liés à l'eau

Les désordres les plus fréquents sont liés aux venues d'eau. À court terme, les venues d'eau peuvent pénaliser

l'exploitation par la gêne, voire le danger apporté aux usagers (ruissellements, verglas, stalactites, déformations de chaussée consécutives à un engorgement du drainage) ou par les dysfonctionnements des équipements (courts-circuits). À long terme, elles peuvent provoquer la dégradation de l'ouvrage et de ses équipements par corrosion des parties métalliques.

Les désordres liés à l'incendie

Ce sont des événements rares mais dont les conséquences peuvent conduire à plusieurs types de désordres. La surface de la structure directement soumise aux flammes ou aux fumées de l'incendie peut présenter des désordres apparents comme la coloration, l'écaillage du béton ou encore la déformation de l'acier. En profondeur, les matériaux chauffés voient leurs caractéristiques mécaniques diminuer. Les effets thermiques (notamment le gradient thermique et/ou la dilatation) provoqués par un incendie peuvent créer des rotules plastiques (et donc des déformations plastiques d'aciers) ou rompre des aciers supérieurs dans les zones d'encastrement. Les zones concernées n'étant pas nécessairement accessibles, ces désordres peuvent être détectés par des mesures de flèches ou de courbures.

4.4 - Surveillance

L'organisation de la surveillance d'un tunnel ayant été explicitée dans le chapitre 2, nous nous attachons ici aux modalités pratiques spécifiques aux diverses actions de surveillance pour les tranchées couvertes courantes.

4.4.1 - La surveillance continue

Par définition, la surveillance continue ne nécessite ni connaissance technique particulière, ni préparation approfondie.

Dans certains cas, le niveau organisationnel peut demander que, dans le cadre de la surveillance continue, une attention particulière soit portée aux zones qui font également l'objet d'une surveillance renforcée (désordres avérés...).

4.4.2 - Le contrôle annuel

Le contrôle annuel en tranchée couverte, conformément aux dispositions du chapitre 2, est le premier niveau de la surveillance organisée. Compte tenu des spécificités des tranchées couvertes et des modalités de leur surveillance, il revêt un caractère particulier et nécessite une attention renforcée à plusieurs titres :

Organisation des visites

Compte tenu des modalités d'intervention souvent délicates et du linéaire parfois important d'ouvrages à visiter, le service opérationnel est chargé d'adapter au contexte de son ouvrage l'organisation des visites.

Quelle que soit son organisation, il doit s'assurer que chaque ouvrage ou partie d'ouvrage visitable (partie circulée, gaines de ventilation, galerie de sécurité) fait l'objet d'une visite spécifique une fois par an et que les observations sont reportées dans un procès-verbal de contrôle annuel.

Par ailleurs, l'ensemble de l'aménagement de surface doit faire l'objet d'une visite spécifique, dont les modalités sont à établir par le service organisationnel, éventuellement en liaison avec les tiers concernés.

Observations à effectuer

Le service organisationnel adapte les visites, comme les observations à effectuer, aux particularités de son ouvrage (type de structures...) et aux éléments issus de la surveillance (points à surveiller, constats lors de patrouille...). Néanmoins, certains points doivent systématiquement faire l'objet d'une observation attentive lors des visites ; ils sont détaillés ci-après.

Lors de la visite dans l'ouvrage

- le revêtement,
- la chaussée et le trottoir (déformation, humidité, présence de débris...),
- le réseau de drainage et d'assainissement (propreté, encrassement, écoulement...),
- les joints entre structures,
- les transitions entres ouvrages (tube principal et galeries...),
- les zones portant des équipements lourds,
- les appuis et cloisons de dalles de ventilation...

Lors de la visite de surface

- la conformité des charges réellement appliquées avec celles prises en compte lors du dimensionnement,
- le respect de l'intégrité de l'ouvrage (non percement de la chape d'étanchéité...),
- la praticabilité des aménagements destinés à l'évacuation des usagers et à l'accès des secours,
- l'apparition ou l'évolution manifeste de désordres (tassements...).



Figure 27 : Aménagements de surface à visiter

Compte-rendu

Le compte-rendu de contrôle annuel comprend obligatoirement l'ensemble des procès verbaux de visites réalisées, ainsi qu'une synthèse du relevé permanent d'événements de l'année écoulée. Il peut éventuellement être complété par les informations jugées pertinentes par le service opérationnel, notamment au regard des spécificités propres de l'ouvrage (travaux de tiers, intempéries...).

Pour la rédaction du procès-verbal de contrôle annuel, le service organisationnel peut s'inspirer du cadre synthétique proposé pour les tunnels creusés en annexe du « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers », disponible sur le site internet du Centre d'études des tunnels (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).

4.4.3 - Inspections détaillées initiales, périodiques et exceptionnelles

Dans le chapitre 2, les inspections détaillées initiales et périodiques sont présentées comme les rouages essentiels de la surveillance des tunnels. Nous donnons ici les modalités pratiques des inspections et les points de vigilance propres aux tranchées couvertes afin de permettre au maître d'ouvrage gestionnaire de réaliser les inspections avec le plus d'efficacité possible.

Compte tenu de la similitude en termes d'organisation, d'intervention et de finalités, nous incluons également les inspections détaillées exceptionnelles.

Intervenants

Comme pour les tunnels creusés, les organismes intervenant lors des inspections détaillées de tranchées couvertes doivent systématiquement garantir au maître d'ouvrage gestionnaire leur capacité à analyser les désordres avec le double regard du géotechnicien et du spécialiste en structure.

Organisation

De la même manière que pour le contrôle annuel, le service organisationnel a la responsabilité d'organiser les interventions nécessaires à la réalisation d'une inspection détaillée. Il est important de faire procéder, autant que possible, au nettoyage des éléments structurels du tunnel, ainsi qu'au démontage des habillages des péroirs peu avant l'intervention.

L'attention est attirée sur le fait que cette intervention doit faire l'objet d'une préparation rigoureuse, en vue de faciliter et optimiser le travail des spécialistes mais également en vue de garantir leur sécurité. Dans ce cadre, le service organisationnel doit s'attacher, pour chaque intervenant (plusieurs spécialistes peuvent être nécessaires pour inspecter une tranchée couverte), à préciser par ouvrage ou tronçon :

- les modalités d'intervention (restriction ou interruption de circulation, accès en surface, horaires...),

- les moyens nécessaires (nacelle, éclairage...),
- l'intervention commune avec un autre spécialiste...

La coordination nécessaire pour une réalisation efficace et optimisée des interventions peut être menée en régie ou externalisée en fonction du contexte.

Dans le cas d'une inspection détaillée initiale, l'intervention peut éventuellement être réalisée en plusieurs phases, surtout si certains aménagements conduisent à cacher ou rendre difficiles d'accès des parties de structures importantes à connaître.

Ceci implique d'insérer cette inspection dans la planification prévue pour l'installation des équipements de la tranchée couverte (accélérateurs, chemins de câbles, éclairage), la mise en place d'habillages, la mise en œuvre de produits de protection ou la mise en peinture du revêtement.

Cette action est différente des examens prévus dans le cadre des opérations préalables à la réception d'une tranchée couverte. Elle doit être réalisée préalablement à la mise en service et ses conclusions peuvent être utiles pour procéder à la réception des ouvrages.

Contenu, modalités

Le contenu, les modalités et les matériels à prévoir pour une inspection détaillée sont définis dans le « Guide d'inspection – IQOA Tranchées couvertes – Évaluation des ouvrages » édité par le Sétra et disponible sur son site internet (www.setra.developpement-durable.gouv.fr).

Une inspection détaillée doit également inclure le contrôle de la couverture de la tranchée pour vérifier la conformité d'utilisation de cette dernière avec les dispositions prises en compte lors du dimensionnement de l'ouvrage, la visite des joints apparents, le contrôle de la praticabilité des aménagements destinés à l'évacuation des usagers et à l'accès de secours. Elle se doit de rechercher les signes pouvant indiquer le non-respect de l'intégrité de l'ouvrage (perçement de la chape d'étanchéité, par exemple).

L'établissement et la représentation des relevés d'intrados s'effectuent suivant une codification qui est détaillée dans le « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers » édité par le CETU.

Toutes les parties constitutives d'une tranchée couverte doivent être inspectées avec la périodicité fixée par le service décisionnel. Une inspection détaillée peut être l'occasion d'en réviser la périodicité.

La visite de certaines parties d'ouvrages peut présenter de sérieuses difficultés de mise en œuvre, soit parce que l'accès n'est pas possible sans travaux importants de démontage préalable d'obstacles tels que les grilles de protection ou les déflecteurs en sortie des usines de ventilation, soit parce que les moyens d'inspection à mettre

en œuvre sont lourds (puits, gaines surbaissées, collecteurs noyés, réseaux non visitables de petite section...). L'approche pragmatique consiste alors à proportionner les moyens aux besoins. Lors de l'inspection détaillée, l'observation peut être faite « de loin » avec un bon éclairage. Si cet examen ne montre pas d'anomalie, et si par ailleurs la surveillance continue et les contrôles annuels ne mettent pas en évidence de dysfonctionnement, le service organisationnel, sur proposition des spécialistes, peut reporter l'examen exhaustif, à condition que les dispositifs non visités n'aient pas un rôle capital ou que les désordres pouvant les affecter n'entraînent pas de risque pour la sécurité. En tout état de cause, ces parties doivent être examinées en détail, au moins lors d'une inspection sur deux, par exemple en organisant une campagne de vidéo-endoscopie dans les réseaux non visitables (drainage ou assainissement) et en fournissant les résultats aux intervenants concernés.

Les ancrages des équipements lourds suspendus au dessus du trafic (groupes moto-ventilateurs, PMV) doivent faire l'objet d'un examen visuel lors des inspections détaillées. Ce domaine, situé à l'interface entre génie civil et équipements, est contrôlé lors des visites de maintenance des équipements. Par ailleurs, des tests de tenue des ancrages par échantillonnage sont prévus au moins une fois tous les 3 ans sur le quart des ancrages d'un ouvrage : cela conduit à tester chaque ancrage tous les 12 ans au maximum. Cependant, il est nécessaire que les inspecteurs des structures continuent à procéder de leur côté à cet examen, afin d'apporter un regard différent et complémentaire à celui des agents en charge de la surveillance des équipements. L'examen porte sur l'environnement (venues d'eau, concrétions, décollement des consoles), sur les têtes des boulons (corrosion, traces de rouille), sur la structure porteuse (fissures, écailles, altération du matériau).

Dans le cas d'une inspection détaillée initiale, l'intervention doit être encore plus minutieuse. Pour une tranchée couverte neuve comme après des réparations structurelles lourdes, elle doit être précédée d'une consultation approfondie du dossier d'ouvrage. Un des objectifs est de faire apparaître les particularités ou anomalies, qui ne sont pas forcément des défauts graves. Ainsi, ayant été identifiés à l'origine, ces défauts n'apparaissent pas lors des inspections ultérieures comme résultant d'une évolution pathologique.

Pour une tranchée couverte ancienne, si l'on ne dispose ni de rapport d'inspection antérieure avec des relevés détaillés d'intrados, ni de dossier d'ouvrage, le maître d'ouvrage gestionnaire doit faire réaliser par ses services et par l'équipe d'inspection une recherche et une consultation approfondie des archives disponibles.

Il peut arriver que, malgré tout, pour certaines parties d'ouvrage, l'inspection ne permette pas de définir exactement leur nature ou leur constitution. Dans ce cas, pour expliquer les anomalies ou les désordres,

Le spécialiste propose au maître d'ouvrage gestionnaire de faire réaliser des investigations complémentaires (sondages, reconnaissances non destructives).

Ces considérations impliquent que l'inspection soit menée par des agents très au fait des techniques et des matériaux utilisés lors de la construction, mais aussi des pathologies de ces structures ou de celles d'ouvrages de même type. Le service organisationnel doit donc attacher une attention toute particulière au choix des intervenants.

Compte-rendu

Le rapport d'inspection détaillée doit être rédigé conformément au cadre défini dans le « Guide méthodologique – IQOA Tranchées couvertes – Évaluation des ouvrages » édité par le Sétra et disponible sur son site internet (www.setra.developpement-durable.gouv.fr). Le service organisationnel adapte la forme et les modalités de synthèse en fonction de la complexité de son ouvrage et du nombre de spécialistes qu'il fait intervenir pour réaliser l'inspection détaillée.

En complément au rapport et dans la continuité de l'intervention, une réunion sur site entre le service organisationnel et les spécialistes peut être envisagée et notamment pour les ouvrages importants, complexes ou sensibles. Cette réunion est utile pour :

- évaluer et discuter des éventuelles mesures conservatoires urgentes à mettre en œuvre,
- confronter les premiers éléments de constat et/ou d'analyse,
- visualiser les faits marquants et/ou les points à surveiller,
- discuter des compléments d'informations ou de documentations éventuellement nécessaires à la finalisation du rapport,
- évoquer l'évaluation de l'état de l'ouvrage.

4.4.4 - Évaluation et cotation de l'état du génie civil

Comme cela est spécifié dans le chapitre 2, l'évaluation du génie civil est de la responsabilité du maître d'ouvrage gestionnaire sur proposition du spécialiste. Quelle que soit la méthodologie utilisée, l'évaluation des tranchées couvertes doit comprendre l'analyse des éléments suivants :

• L'état des structures

L'évaluation doit permettre d'apprécier les zones présentant un état homogène en terme de désordres affectant les structures principales et secondaires du tube.

• La présence de l'eau

L'évaluation doit permettre d'apprécier les zones présentant des venues d'eau selon leurs conséquences vis-à-vis de l'exploitation de l'ouvrage.

Quelles que soient l'origine et l'importance du désordre,

s'il présente une conséquence pouvant mettre en cause la sécurité des usagers, il doit faire l'objet d'une mention spécifique afin de permettre un traitement adéquat.

La méthodologie IQOA tranchée couverte, permet une approche adaptée au contexte des tranchées couvertes tout en restant homogène en terme de classes d'état avec les méthodologies IQOA ponts et murs.

Le « Guide méthodologique – IQOA Tranchées couvertes – Évaluation des ouvrages » édité par le Sétra en donne les modalités et fournit un exemple théorique de découpage et d'évaluation de l'état du génie civil d'un ouvrage. Ce guide est disponible sur le site internet du Sétra (www.setra.developpement-durable.gouv.fr).

4.4.5 - Actions complémentaires de surveillance et de diagnostic

Lorsque la connaissance de l'état de l'ouvrage acquise par les inspections est insuffisante pour établir un diagnostic complet et suivre une évolution, il peut être fait appel à des actions complémentaires de surveillance. Il convient alors de se reporter au fascicule 3 de l'ITSEOA. Certaines méthodes d'auscultation et de reconnaissance, mais pas toutes, sont identiques à celles décrites au paragraphe 3.3. Elles doivent cependant être adaptées au type de structures rencontrées.

4.5 - Entretien et réparations

Les tranchées couvertes sont des milieux confinés pour le personnel et l'utilisateur. La consistance des travaux d'entretien doit être adaptée en conséquence. Parmi ceux-ci, on distingue l'entretien courant qui comporte des opérations techniques simples et généralement peu coûteuses et l'entretien spécialisé qui exige une technicité particulière et, le plus souvent, le recours à des entreprises extérieures. L'entretien courant se distingue de la réparation qui est toujours corrective.

Nous notons que l'entretien à réaliser depuis la surface doit souvent faire l'objet d'une convention avec le maître d'ouvrage de l'aménagement situé sur la couverture de la tranchée.

4.5.1 - Entretien courant

L'entretien courant est une action systématique demandant peu de moyens et peu de technicité. Il doit être réalisé de façon régulière, en liaison étroite avec la surveillance du réseau routier. Il est à réaliser ou à faire réaliser par le service opérationnel. Certaines opérations peuvent cependant nécessiter des moyens importants.

Les principaux travaux d'entretien courant sont :

- le nettoyage des dispositifs d'écoulement des eaux (barbacanes, collecteurs d'assainissement, caniveaux, drains...),

- le nettoyage de la chaussée, l'enlèvement des dépôts qui se créent sur les rives de la chaussée,
- le nettoyage des trottoirs et dalles,
- l'entretien de la surface dont le maître d'ouvrage gestionnaire est responsable (élimination de végétations ou autres éléments susceptibles d'endommager la structure et ses équipements),
- le maintien en état des accès de visite.

Ils sont :

- soit programmés sur la base des recommandations des consignes d'entretien (dossier d'ouvrage) ou des constatations faites lors des actions de surveillance,
- soit réalisés dès que possible, après constatations d'anomalies signalées sur le relevé permanent d'événements et lorsque cela s'avère nécessaire pour assurer les conditions de sécurité de l'exploitation.

4.5.2 - Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé, contrairement à l'entretien courant, concerne des opérations :

- soit qui nécessitent des moyens particuliers dont ne dispose pas le maître d'ouvrage, tant pour leur exécution que pour la protection du chantier (lavage des piédroits, hydrocurage des réseaux de drainage, changement de joint d'étanchéité, par exemple),
- soit qui relèvent de techniques spéciales (traitement d'étanchéité, ragréage limité...),
- soit qui requièrent une analyse préalable par un spécialiste.

Il y a alors lieu de faire appel à des organismes ou entreprises spécialisés.

Même les opérations d'importance modeste sont à programmer et à réaliser dans les conditions conformes aux consignes de protection et de sécurité prévues au dossier des interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

Les travaux doivent être préparés et exécutés avec beaucoup de soin, sous couvert d'un plan d'assurance de la qualité (PAQ) et avec les contrôles inhérents à chaque nature d'intervention. Ces contrôles, même sommaires, réalisés par un spécialiste averti, s'avèrent nécessaires dans la plupart des cas. En effet, l'expérience enseigne que les travaux simples sont plus complexes qu'il ne paraît à première vue et peuvent donner lieu à bien des déboires.

L'exécution des travaux peut être l'occasion de constater des anomalies qui auraient échappé à la surveillance courante. Dans ce cas, elles doivent être consignées dans le relevé permanent d'événements.

Toute opération réalisée doit également faire l'objet d'un document synthétique à inscrire au relevé permanent d'événements et d'un sous-dossier à ajouter au dossier d'ouvrage.

4.5.3 - Réparation et amélioration

Les travaux de réparation d'une tranchée couverte sont liés aux types de structures qui la composent. En conséquence, ce paragraphe ne traite pas des techniques particulières pour lesquelles nous conseillons au maître d'ouvrage gestionnaire de consulter les fascicules et les guides relatifs aux structures concernées.

En revanche, quelle que soit la technique utilisée, nous attirons l'attention du maître d'ouvrage gestionnaire sur :

• Les conditions d'exploitation

Le phasage des travaux et les conditions de circulation dans l'ouvrage doivent faire l'objet d'une attention toute particulière pour garantir la sécurité des usagers et des intervenants, ainsi que la qualité des travaux.

• Les conditions d'hygiène et de sécurité

Les travaux souterrains présentent des particularités en plus des caractéristiques habituelles des chantiers : l'amplification des risques liés au confinement (bruit, qualité de l'air...), l'exiguïté du poste de travail, le travail en lumière artificielle, l'importance de la ventilation. Il convient donc d'accompagner l'ensemble du projet d'une réflexion spécifique sur les risques liés aux travaux.

Les travaux d'amélioration visant la sécurité des tranchées couvertes comprennent fréquemment la mise en place d'une protection des structures vis-à-vis de l'incendie (béton projeté, plaques de protection thermique...). Ce type de travaux conduisant par conséquent à masquer, au moins en partie, la structure, il convient pour les structures concernées :

• De garantir leur fonctionnement à moyen terme

Si des travaux de réparation ou d'entretien lourd sont nécessaires pour assurer le fonctionnement à moyen terme de la structure, ils doivent être réalisés préalablement ou simultanément aux travaux d'amélioration.

• D'intégrer au projet l'étude de leur surveillance ultérieure

La pose de protections thermiques diminue fortement les possibilités d'observation des désordres structuraux. En conséquence, la surveillance globale de la structure doit intégrer cette contrainte en recherchant l'optimisation des actions. La réflexion doit notamment porter sur les « points faibles » (appuis, ancrages, zone de flexion, joints de construction...) qui constituent des lieux préférentiels pour l'apparition de pathologies. Le maître d'ouvrage gestionnaire doit donc rechercher le meilleur niveau de surveillance possible tout en conservant à l'esprit que la présence d'une protection thermique ne permet plus une observation exhaustive de la structure.

5 - Dispositions spécifiques aux équipements

5.1 - Les équipements concernés

Les équipements installés dans les tunnels routiers et leurs abords sont très différents les uns des autres, dans leur nature, leur utilisation et leur complexité. D'une manière schématique, on peut distinguer :

• **Les équipements généraux ou équipements lourds (à base de mécanique, électromécanique et courants forts) :**

- alimentation et distribution électrique,
- éclairage,
- ventilation/désenfumage,
- évacuation des liquides (recueil, relevage et traitement).

• **Les équipements plus sophistiqués de gestion (à base de courants faibles) :**

- gestion technique centralisée : capteurs, équipements d'automatisme et de télétransmissions, dispositifs de supervision, système d'aide à la décision,
- gestion du trafic : vidéosurveillance et détection automatique d'incident, signalisation dynamique, réseau d'appel d'urgence, retransmission des radiocommunications, comptage,

• **Le réseau d'eau de lutte contre l'incendie,**

• **La signalisation fixe,**

• **La serrurerie, les anneaux d'ancrage, les dispositifs de manutention, etc.**

• **Les équipements divers : contrôle d'accès de certaines zones, interphonie, détection incendie des locaux techniques, etc.**



Figure 28 : Équipement lourd : accélérateurs en voûte

Ces équipements ne sont pas systématiquement installés dans tous les tunnels routiers. Le niveau d'équipement varie en effet fortement suivant les caractéristiques de l'ouvrage (caractère urbain ou non urbain, deux tubes unidirectionnels ou tube bidirectionnel...).



Figure 29 : Équipement de gestion : moniteurs et consoles de supervision

La plupart des équipements obéissent également à des exigences de sécurité pour lesquelles le maître d'ouvrage gestionnaire s'attachera à mettre en oeuvre une surveillance et une maintenance cohérente avec leurs enjeux.

Tous ces équipements sont très divers et leur entretien impose de faire appel à de nombreux corps d'état (mécaniciens, électriciens, électroniciens...).

Certains équipements répondent à une logique d'itinéraire et ne sont donc pas spécifiques au tunnel même si leur implantation y est alors plus resserrée (postes d'appel d'urgence ou panneaux de signalisation par exemple). Dans ce cas, leur gestion doit être assurée au titre de l'itinéraire.

5.2 - Maintenance des équipements

Comme indiqué au paragraphe 2.4, les interventions de maintenance préventive et corrective peuvent être classées en 4 niveaux :

- **niveau 1** : entretien courant
 - **niveau 2** : essais/vérifications
 - **niveau 3** : interventions programmées
 - **niveau 4** : dépannage
- } maintenance préventive
} maintenance corrective

Rappelons qu'il est recommandé de privilégier le plus possible la maintenance préventive car cela permet de planifier les interventions et d'avoir des équipements en bon état de marche tout au long de leur durée de vie.

Les diverses actions de maintenance préventive des équipements sont généralement établies en fonction des prescriptions d'entretien fournies par les différents constructeurs.

Un document détaillant les différentes interventions de maintenance préventive (et les périodicités d'intervention) à mener sur les équipements est accessible sur le site Internet du Centre d'Études des Tunnels (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).

Dans ce document n'apparaissent que des interventions de maintenance préventive. En outre, les listes des actions à réaliser sur les équipements ne sont pas exhaustives ; elles sont à compléter, voire à adapter, pour tenir compte des caractéristiques (modèle, conditions de fonctionnement, performances, technologie, etc.) propres à chaque matériel, à partir des préconisations fournies par les constructeurs.

Les données relatives aux périodicités d'intervention ont été établies à partir d'informations recueillies auprès d'exploitants ; elles ont toutefois été corrigées pour prendre en compte les conditions d'emploi spécifiques aux tunnels ; par exemple, les durées de vie des sources lumineuses sont données par les fournisseurs pour des cycles d'allumage / extinction plus sévères que ceux qui sont pratiqués en tunnel ; les transformateurs ne fournissent pas continuellement leur puissance nominale en tunnel...

Il faut également noter que les données relatives aux périodicités d'intervention sont des valeurs moyennes qui peuvent varier d'un ouvrage à un autre. La nature même et la périodicité des interventions de maintenance doivent être adaptées en fonction des constats effectués lors des précédentes interventions (évolutivité du plan de maintenance).

Pour les ancrages des équipements lourds situés au-dessus des voies de circulation, la démarche retenue consiste à effectuer une inspection visuelle tous les ans,

complétée par des vérifications et tests de tenue des ancrages au moins tous les 3 ans sur le quart des ancrages d'un ouvrage : cela conduit à tester chaque ancrage tous les 12 ans au maximum. Cette périodicité peut être réduite en fonction des observations visuelles. Une méthode de vérification par traction au vérin existe actuellement.

Les différentes interventions de maintenance préventive à mener sur les équipements ont été regroupées par famille d'équipements pour faciliter la lecture (liste non exhaustive) :

- alimentation électrique,
- éclairage,
- ventilation,
- réseaux hydrauliques (installation de pompage des eaux et réseau d'eau de lutte contre l'incendie),
- signalisation,
- vidéosurveillance (y compris dispositif de Détection Automatique d'Incident),
- équipements de communication avec l'utilisateur (réseau d'appel d'urgence et retransmission des radiocommunications),
- équipements de gestion technique centralisée,
- autres équipements de sécurité,
- équipements du poste de contrôle-commande,
- divers.

Ce regroupement peut aussi permettre à un service opérationnel qui souhaite sous-traiter l'entretien d'un équipement donné (éclairage, ventilation, etc.), de retrouver aisément les différents sous-ensembles concernés et de pouvoir établir plus facilement un cahier des charges.

L'optimisation des interventions de maintenance préventive peut conduire à les regrouper en fonction de divers critères (proximité d'implantation, périodicités identiques...).

5.2.1 - Entretien courant

Les équipements disposés à l'intérieur du tunnel sont soumis à une atmosphère poussiéreuse et corrosive dont il est nécessaire de réduire les effets. Des interventions de nettoyage doivent donc être régulièrement effectuées :

- balayage des espaces accessibles aux usagers (niches et issues de secours), des salles d'exploitation et des locaux techniques,
- dépoussiérage des coffrets, armoires et tableaux électriques,
- lavage des piédroits et des équipements disposés dans l'espace circulé (luminaires, panneaux de signalisation, panneaux signalant les niches et les issues de secours ainsi que les portes d'accès, objectifs des caméras...).

La périodicité des visites et des nettoyages doit être définie en fonction de l'ambiance plus ou moins corrosive de l'ouvrage.

La densité du trafic, sa nature (% de poids-lourds), les caractéristiques propres de l'ouvrage (pente, présence d'eau...) sont autant de paramètres qui agissent sur le niveau plus ou moins corrosif de l'atmosphère du tunnel.

Un document qui permet d'évaluer l'agressivité d'un tunnel en exploitation et qui comporte des indications relatives aux périodicités de nettoyage des équipements implantés dans l'espace circulé est accessible sur le site Internet du Centre d'Etudes des Tunnels (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).

5.2.2 - Essais/vérifications

Essais

Ces actions visent à vérifier que le fonctionnement, ou la mise en sécurité, d'un équipement est assuré à partir de sollicitations locales (espace circulé, locaux techniques) ou à distance (poste de contrôle commande). Elles peuvent donc notamment concerner :

- la commande fonctionnelle d'équipements depuis les armoires électriques,
- les basculements de source d'alimentation électrique (normal/secours),
- la fermeture/ouverture des barrières,
- la vérification des sécurités (y compris arrêt d'urgence),
- les essais des afficheurs, la manœuvre d'un dispositif y compris report de l'information (ouverture/fermeture portes niches et issues de secours, décroché extincteur, manœuvre des vannes des bornes incendie...),
- les commandes unitaires passées depuis le poste de contrôle commande.

Vérifications

Les tâches de vérifications s'effectuent le plus souvent visuellement. Elles permettent d'avoir des informations intéressantes sur certains équipements, soit directement (aspect, lisibilité, état d'une source), soit par comparaison à des valeurs de références (lecture de valeurs affichées).

Parmi les vérifications les plus fréquemment effectuées en tunnel, on peut citer :

- les vérifications visuelles d'état (aspect),
- les vérifications des valeurs affichées,
- les vérifications des supports et/ou fixations,
- les vérifications des connexions,
- les vérifications de lisibilité des panneaux lumineux,
- les vérifications de "lisibilité" des hublots,
- les vérifications sur l'état des sources d'éclairage (hors service ou pas),
- les vérifications sur l'état des batteries d'onduleur.

Rappelons que ce programme de vérifications comprend le contrôle continu au sens du paragraphe 2.4.3.

Mesures

Les principales mesures qui peuvent être réalisées apparaissent ci-après :

- l'étalonnage des capteurs,
- la vérification des seuils de déclenchement et des temporisations,
- la vérification des grandeurs électriques (tension, intensité, puissance, fréquence, gain d'amplification, atténuation en transmission...),
- l'autonomie des onduleurs,
- les mesures d'éclairage et/ou de luminance,
- les mesures de débit.

5.2.3 - Interventions programmées

Les interventions programmées sont de natures très diverses. Depuis un changement de lampe sur un panneau lumineux jusqu'à des réglages d'amplificateurs, elles requièrent donc une technicité qui peut être importante. Les plus courantes sont les suivantes :

- changements de filtres de capteurs,
- graissages de roulements,
- resserrages des connexions en armoires ou en tableaux,
- réglages d'amplificateurs,
- réglages de dispositifs de supportage,
- changements de sources lumineuses (luminaires, panneaux, hublots...),
- remplacements de batteries d'onduleurs.

5.2.4 - Dépannage

Même avec une maintenance préventive très bien faite, il ne sera pas possible d'éviter des interventions de maintenance corrective ⁽⁹⁾. Des interventions de dépannage, qui sont, par nature, imprévisibles, sont donc à prendre en compte par le maître d'ouvrage gestionnaire.

Trois aspects sont à examiner pour établir une démarche permettant de répondre le plus efficacement possible à ce type de pannes :

- la compétence du personnel (en interne ou en externe) par grande famille d'équipements,
- le temps d'intervention (selon différentes périodes : jour ouvré/samedi-dimanche/jour férié, en journée, de nuit...),
- la consistance du stock de pièces de rechange.

(9) En 2006, les industriels français estimaient que la répartition optimale était de 90 % de maintenance préventive pour 10 % de maintenance corrective.

5.3 - Les contrôles

Ce paragraphe ne concerne que les opérations systématiques et il n'aborde pas le contrôle " continu " qui, nous l'avons vu, relève de la maintenance préventive (cf. 5.2).

5.3.1 - Contrôles réglementaires spécifiques à certains équipements

Il convient de s'assurer que tous les équipements visés par des textes spécifiques font bien l'objet des contrôles réguliers prescrits par la réglementation en vigueur. Il s'agit notamment (liste non exhaustive) :

- des installations électriques qui doivent faire l'objet de contrôles périodiques réguliers faits par un organisme agréé (code du travail 4ème partie Santé et sécurité au travail, décret du 14 novembre 1988, version consolidée au 22 juin 2001, décret n°2010-1118 du 22 septembre 2010),
- des ascenseurs et monte-charges (décret n°2004-964 du 9 septembre 2004 et ses arrêtés d'application, décret n°2008-1325 du 15 décembre 2008),
- des appareils de levage et de manutention (décret n° 98-1084 modifié par le décret n° 2002-1404, arrêté du 2 mars 2004, décret n° 2006-1254),
- des équipements de protection (décret n°2008-1156 du 7 novembre 2008),
- des extincteurs (arrêté du 20 mai 1963 modifié, arrêté du 15 mars 2000, arrêté du 20 mars 2002, arrêté du 21 octobre 2004, norme NFS 61-919),
- des blocs autonomes d'éclairage de sécurité (norme européenne NF EN 60598.2.22 et normes de la série NFC 71-800/801/808),
- des systèmes de détection incendie (code du travail articles R.4216-1 à R.4216-31 et articles R.4227-1 à R.4227-57, arrêté du 2 février 1993, décret n°92 332 du 31 mars 1992).



Figure 30 : Extincteurs dans une niche de sécurité

5.3.2 - Séquences particulières de sécurité

Comme nous l'avons déjà dit, en tunnel, certains équipements sont utilisés régulièrement (ventilation sanitaire, éclairage...), alors que d'autres le sont, heureusement, beaucoup plus rarement (fermeture, désenfumage...).

Lorsque de tels dispositifs sont présents dans un tunnel, en plus des actions de maintenance préventive qui doivent leur être apportées en " continu ", il convient de vérifier régulièrement qu'ils sont opérationnels en réalisant des séquences particulières de sécurité tous les ans.

Ces séquences visent des fonctionnalités globales : par exemple, application d'un scénario incendie mettant en œuvre des séquences de signalisation, de fermeture des accès, de désenfumage...

Toutefois, pour les ouvrages particulièrement complexes, les différents scénarios d'incendie et/ou d'évacuation recouvrent un grand nombre de configurations. Ces dernières pourront ne pas être toutes testées sur une seule année mais sur une période de trois ans⁽¹⁰⁾.

Dans certains cas, les séquences particulières de sécurité peuvent constituer tout ou partie du scénario d'un exercice organisé conjointement par le maître d'ouvrage gestionnaire et les services d'intervention (exercices prévus à l'Article R.118-3-8 du code de la voirie routière).

5.3.3 - Inspections périodiques

Comme indiqué précédemment, le maître d'ouvrage gestionnaire est responsable du maintien du niveau de sécurité de son tunnel. Indépendamment des contrôles réalisés lors de l'exploitation courante de l'ouvrage, les inspections périodiques constituent un moyen de s'assurer du fonctionnement des équipements (état, performances, fonctionnalité) et de l'efficacité de la maintenance.

Une première inspection très complète (appelée inspection détaillée initiale) doit être réalisée avant la mise en service d'un ouvrage neuf, dans le cadre du transfert de la responsabilité de l'ouvrage du maître d'ouvrage constructeur vers le maître d'ouvrage gestionnaire. Ensuite, une inspection détaillée périodique est réalisée chaque année qui précède la demande de renouvellement de l'autorisation de mise en service pour les tunnels de plus de 300 mètres et tous les six ans pour les tunnels de longueur inférieure ou égale à 300 mètres.

Il importe de souligner que la consistance de ces différentes inspections est à adapter au niveau d'équipement du tunnel qui, comme indiqué précédemment, peut varier fortement d'un ouvrage à l'autre.

(10) Les séquences de désenfumage incluses dans des scénarios d'incendie peuvent, dans le cas d'un système de ventilation transversal, s'effectuer par cantons glissants avec un pas de l'ordre de 100 m et intégrer d'autres paramètres variables ; d'où un très grand nombre de combinaisons.

5.3.3.1 - Actions à conduire lors de l'inspection détaillée initiale (IDI)

Les différentes tâches à réaliser peuvent être regroupées en quatre familles :

- Les contrôles de **bonne conception** de l'ouvrage et des installations, essentiellement sous l'aspect de la sécurité : il s'agit de vérifier, dans une ultime démarche, qu'il ne subsiste pas certaines dispositions inadaptées ou contraires aux règles de sécurité qui auraient échappé jusque là aux différents contrôles déjà réalisés, soit en termes de conception, soit par le fait d'un mode d'installation inadapté aux fonctions à réaliser.

- Les contrôles de **certification de la qualité des matériaux et matériels utilisés** devant répondre à des spécifications précises de sécurité, notamment de réaction et de résistance au feu ou d'étanchéité. Il s'agit de vérifier que tous les procès-verbaux demandés sont fournis et qu'ils concluent que les matériaux et matériels ont bien fait l'objet d'une certification adéquate ou d'essais spécifiques réalisés dans le cadre des marchés. En cas d'absence, un contrôle complémentaire devra être réalisé.

- Les mesures des **performances des installations** qui portent essentiellement sur les grandeurs caractéristiques du dimensionnement des installations : débits d'air, niveaux d'éclairage, durée d'autonomie d'une batterie... Il s'agit en général de grandeurs qui sont prescrites en qualité d'obligation de résultat dans les cahiers des charges des installations et ont, de ce fait, déjà fait l'objet d'essais de réception dans le cadre de marchés spécifiques. Il s'agira donc d'effectuer la collecte des résultats et, le cas échéant, de les compléter en cas de manque.

- Les **essais fonctionnels** visant à vérifier le bon fonctionnement des différents systèmes mis en œuvre face à différentes sollicitations (commandes manuelles depuis le poste de contrôle-commande, ordres de marche élaborés en cas de dépassement de seuils prédéfinis). Ces essais peuvent porter sur :

- le fonctionnement individuel des équipements (ex : démarrage d'un ventilateur, y compris fonctionnement du registre et des auxiliaires),
- les séquences fonctionnelles par famille, séquences qui peuvent parfois associer des sous-ensembles de plusieurs familles (ex : mise en route automatique d'un régime d'éclairage ; séquence dans laquelle interviennent un capteur, un automate programmable, l'alimentation électrique et les luminaires).

Il faut indiquer que les **séquences particulières de sécurité** (voir paragraphe 5.3.2), qui sont à faire tous les ans, doivent être réalisées pour la première fois lors de l'IDI.



Figure 31 : Dispositif de barrières pour interdire l'accès à un ouvrage actionné lors d'essais fonctionnels

Un document contenant une liste non exhaustive des différents contrôles à réaliser lors d'une IDI et lors des séquences particulières de sécurité est accessible sur le site Internet du Centre d'Etudes des Tunnels (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).

5.3.3.2 - Actions à conduire lors d'une inspection détaillée périodique (IDP)

Les contrôles à réaliser correspondent à ceux déjà prescrits pour l'IDI en ce qui concerne :

- les mesures de performance des installations,
- les séquences fonctionnelles par famille.

Lors d'une IDP, toutes les manoeuvres, commandes unitaires et commandes fonctionnelles des équipements, y compris les séquences particulières de sécurité, sont réalisées par le service opérationnel sur demande de l'entité en charge de réaliser l'IDP.

Ils sont complétés par :

- des contrôles de l'état des équipements d'un point de vue pérennité,
- l'examen du niveau de disponibilité des pièces de rechange,
- des appréciations sur l'éventuelle obsolescence de certains équipements.

La vérification du fonctionnement individuel des équipements étant réalisée en "continu" dans le cadre des actions de maintenance préventive, les essais fonctionnels individuels (par accélérateur ou par circuit d'éclairage, par exemple) ne sont pas refaits lors d'une IDP.

Le contrôle de l'état des équipements, la disponibilité de pièces de rechange, ainsi que l'appréciation de l'obsolescence sont réalisés pour chaque famille d'équipements.

A noter que pour les mesures de performances dans le cadre de l'éclairage et de la ventilation-désenfumage, tous les essais ne sont pas réalisés avec le même niveau d'exigence que lors des tests effectués dans l'IDI.

Lors d'une IDP, le but des mesures est davantage de contrôler une évolution que d'évaluer finement une performance ; un des objectifs étant de vérifier l'adéquation des différents équipements aux conditions réelles du trafic.

Un document contenant une liste non exhaustive des différents contrôles à réaliser lors d'une IDP (par famille d'équipements et par séquences particulières de sécurité) est accessible sur le site Internet du Centre d'Études des Tunnels (www.cetu.developpement-durable.gouv.fr).

5.3.4 - Évaluation des équipements

La grande diversité des équipements conduit à faire une évaluation par grande famille.

Pour l'évaluation des équipements, on se rapproche le plus possible du système de cotation IQOA utilisé pour la cotation du génie civil. Pour chaque famille (ou sous-famille), on retient donc :

- deux notes,
- une notation par tronçon,
- quatre valeurs possibles pour chaque note,
- un complément littéral possible pour chaque note.

Les notes

Deux notes sont à donner : la première est relative aux performances de l'équipement par rapport à ses performances nominales ; la seconde se rapporte à l'état de l'équipement lors de la visite.

Les tronçons

Les tronçons désignent des entités géographiques ou zones géographiques : poste de contrôle-commande, stations, locaux techniques, tube(s), voire pour certains ouvrages des zones particulières (galeries inter-tubes par exemple). Selon la famille d'équipements considérée et les sous-ensembles qui la constituent, il peut être utile d'avoir un ou plusieurs tronçons. Par exemple, pour l'éclairage on pourra avoir deux tronçons (les tubes et les locaux techniques), alors qu'on pourra avoir trois tronçons pour la vidéosurveillance (le poste de contrôle-commande, les tubes et les locaux techniques).

Valeurs possibles pour les notes

Chaque note peut se voir attribuer quatre valeurs, de 1 à 4. La valeur 4 est la plus mauvaise note possible et la valeur 1 est la meilleure. Les tableaux ci-dessous précisent la correspondance entre les notes et les constats effectués.

Performances	
Constats	Notes
Très satisfaisantes	1
Satisfaisantes	2
Insuffisantes	3
Très insuffisantes	4

État	
Constats	Notes
Très bon état	1
Bon état	2
Mauvais état	3
Très mauvais état	4

Complément littéral possible

Chaque note peut être complétée par les lettres 'S' et 'M'. La présence de la lettre 'S' signale un impact sur la sécurité :

- soit elle indique que l'équipement considéré a des performances telles que le niveau de sécurité assuré aux usagers est dégradé (exemple : des débits de désenfumage très insuffisants),
- soit elle indique que l'équipement considéré est dans un tel état qu'il peut présenter un danger pour l'usager, essentiellement par chute.

La présence de la lettre 'M' signale un problème de maintenabilité. L'équipement considéré ne peut plus être maintenu car il n'existe plus de pièces de rechange permettant de le réparer s'il tombe en panne.

5.4 - Renouvellement des équipements

Rappelons que le renouvellement des équipements doit relever d'une démarche préventive. Cela impose donc d'apprécier le plus tôt et le plus précisément possibles le besoin de renouvellement, les échéances et le coût.

Il convient donc d'établir des prévisions en fonction des durées de vie type en prenant en considération les spécificités propres à chaque ouvrage.

5.4.1 - Durées de vie type

Les divers équipements présents dans un tunnel (y compris matériels informatiques, logiciels...) ont des durées de vie très différentes ; elles peuvent aller de quelques années (matériels électroniques) à plusieurs dizaines d'années (équipements de type électromécanique). Le tableau de la page suivante indique des durées de vie pour plusieurs types d'équipements. Les valeurs fournies sont des moyennes adaptées au cas des tunnels, moyennes autour desquelles des variations importantes sont possibles. Enfin, les conditions dans lesquelles travaillent les équipements, ainsi que les sollicitations qu'ils subissent, ont une influence importante sur les durées de vie.

Famille	Sous-ensemble	Durée de vie moyenne en années	Remarque(s)
Alimentation/distribution électrique			
	Cellules 20 KV	25	
	Transformateurs	30	
	Câbles	30	
Alimentation de secours			
	Groupe électrogène	25	Révisions intermédiaires
	Onduleur	15	
	Batterie plomb étanche	5	
	Batterie cadmium-nickel	20	
Éclairage			
	Luminaire	20	
	Chemins de câbles	20	
	Boîtes de dérivation	20	
Ventilation			
	Accélérateurs	15	Révisions intermédiaires
	Ventilateurs en station	25	Y compris équipements annexes (registres, insonorisation)
Pompage			
	Pompes	20	
Gestion technique centralisée			
	Capteurs de pollution	10 à 15	Suivant le type d'équipement
	Capteurs de luminance	15	
	Logiciels informatiques	10	Peuvent être obsolètes au bout de 4 à 5 ans
	Serveurs informatiques	10	Peuvent être obsolètes au bout de 4 à 5 ans
	Automates	10	Peuvent être obsolètes au bout de 5 à 6 ans
Vidéosurveillance			
	Caméras	15	Peuvent être obsolètes au bout de 8 à 10 ans
	Logiciels informatiques	10	
	Moniteurs	10	
Signalisation			
	Boucles de comptage	10	
	Panneaux fixes	20	
	Panneaux variables	15	
Téléphonie			
	Postes en tunnel	15	
	Poste centralisateur	25	
Retransmission des radiocommunications			
	Câble rayonnant	20	
	Émetteurs	15	
	Antennes	20	
Détection incendie			
	Capteurs	10	
	Centrale d'alarme	20	
Borne incendie			
		25	

Dans bien des cas, le remplacement se fait par famille et non pas par équipement et il convient donc de prendre

en compte la durée de vie la plus faible des divers sous-systèmes qui constituent une famille d'équipements.

5.4.2 - Corrections apportées en fonction des spécificités du tunnel

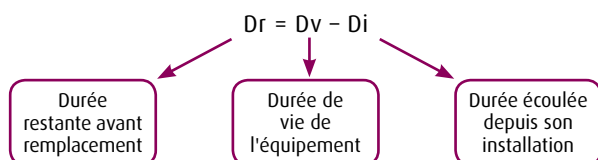
Les données qui servent de base à l'établissement d'un état prévisionnel du renouvellement des matériels sont essentiellement les durées de vie qui apparaissent au paragraphe précédent.

Il appartient au maître d'ouvrage gestionnaire d'apprécier, en fonction de l'état constaté sur le terrain et, le cas échéant, de l'évolution des performances mesurées, les corrections qu'il y a lieu d'apporter à ces durées de vie, étant observé que le problème devient plus sensible lorsque l'équipement considéré se rapproche de l'échéance prévisible.

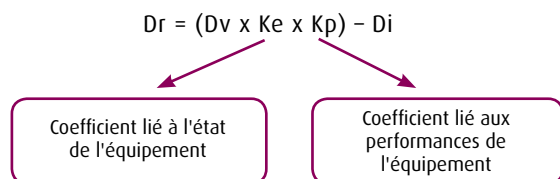
Dans la plupart des cas, cette appréciation, qui doit être assortie de celle des différents autres critères déjà évoqués (importance des pannes constatées, obsolescence, possibilités d'approvisionnement des pièces de rechange), ne présente pas de difficulté particulière : par exemple, après une dizaine d'années de fonctionnement d'une installation de vidéosurveillance, le maître d'ouvrage gestionnaire est en mesure d'estimer si les caméras doivent être changées à court terme parce qu'elles sont fortement dégradées ou si elles pourront être opérationnelles jusqu'à leur durée de vie théorique de 15 ans environ ; dans ce dernier cas, le problème du renouvellement ne se posera qu'ultérieurement.

Pour une approche plus méthodique applicable à de grosses installations (éclairage par exemple), le maître d'ouvrage gestionnaire de tunnels importants pourra s'inspirer de la démarche indiquée ci-après.

Pour chaque type d'équipement, on a :



Toutefois, en fonction de la situation constatée, cet état peut être modifié. Pour cela, il convient de prendre en compte les deux indicateurs que sont l'état de l'équipement et ses performances. La formule précédente s'écrit alors :



Les tableaux ci-dessous contiennent des valeurs pour les coefficients Ke et Kp qui sont données pour différentes durées écoulées depuis la mise en service de l'équipement considéré. Les données fournies sont à considérer comme des ordres de grandeur plutôt que comme des valeurs exactes. Le maître d'ouvrage gestionnaire peut utiliser ces tableaux en les renseignant annuellement.

		Durée écoulée depuis l'installation de l'équipement		
		Dv / 2	3 Dv / 4	Dv
État (coefficient Ke)	Très bon	1	1,1	1,2
	Bon	0,9	1	1,1
	Mauvais	0,8	0,9	1
	Très mauvais	0,7	0,8	0,9

		Durée écoulée depuis l'installation de l'équipement		
		Dv / 2	3 Dv / 4	Dv
Performances ⁽¹¹⁾ (coefficient Kp)	entre 0 et - 5%	1	1,1	1,2
	entre -5 et - 10%	0,9	1	1,1
	entre -10 et - 15%	0,8	0,9	1
	entre -15 et - 20%	0,7	0,8	0,9

Il appartient au maître d'ouvrage gestionnaire d'appliquer une périodicité de renouvellement cohérente avec l'importance et l'enjeu de chaque équipement.

De la même manière, il lui appartient de proposer sur la base de ces résultats indicatifs des suites à donner cohérentes.

(11) Par rapport à la mise en service

Bibliographie

Circulaires

- Politique d'entretien routier du réseau national – DR/REG –E Circulaire 2000, annexe 3 : terminologie relative à la hiérarchisation du réseau
- Circulaire n° 2006-20 relative à la sécurité des tunnels routiers de plus de 300 mètres de longueur qui annule la circulaire n° 2000-63 mais maintient en application son annexe 2 (l'instruction technique) pour les seuls ouvrages de l'État.

Recommandations AFTES

(www.aftes.asso.fr)

- Catalogue des désordres des tunnels et galeries souterraines – AFTES GT14 – TOS n° 191 - 2005
- Nomenclature des parties d'ouvrages en tunnels - AFTES GT 14 – à paraître, en remplacement de la version d'avril 1980
- Méthodes d'auscultation des ouvrages souterrains – GT 19 – TOS n° 187 - 2005
- Les travaux d'entretien et réparation – GT 14 – N° spécial TOS – Novembre 1984
- Les réparations d'étanchéité en souterrain – GT 9 – N° spécial TOS – Mai 1988
- Traitement des venues et pertes d'eau dans les ouvrages souterrains en exploitation – GT 14 – TOS n°89 – septembre – octobre 1988
- Traitement d'arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains – GT 9 – Étanchéité–TOS n° 194/195 - 2006
- Les méthodes de diagnostics pour les tunnels revêtus – GT 14 – TOS n°131 – Septembre/octobre 1995, pages 287 à 306
- L'emploi des injections pour la réhabilitation d'ouvrages souterrains visitables – GT 14 – TOS n°146 mars / avril 1998, pages 103 à 134
- Dévolution des marchés publics de travaux en souterrain – TOS n° 151- janvier/février 1999

Documents du CETU

(www.cetu.developpement-durable.gouv.fr)

- Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers – 2004 (nouvelle version à paraître en 2012)
- Caractérisation de l'atmosphère de 20 tunnels français (rapport de recherche, année 1998)
- Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers

Documents du Séttra

(www.setra.developpement-durable.gouv.fr)

- Guide pour la conception générale du génie civil des tranchées couvertes – 2002
- Guide méthodologique – IQOA Tranchées couvertes – Évaluation des ouvrages – 2010
- Guide d'inspection – IQOA Tranchées couvertes – Évaluation des ouvrages – 2010

Autres documents

- SNCF - Cotation des ouvrages d'art – Catalogue des avaries – livret K « tunnels »
- Dictionnaire permanent « Sécurité et conditions de travail » (Éditions législatives, 80, avenue de la Marne – 92566 Montrouge)



Annexes 1 - Conditions de sécurité à respecter lors des actions de surveillance et d'entretien programmées - Difficultés spécifiques d'intervention

Préambule

Conformément au décret 94-1159 du 26 décembre 1994, le service décisionnel ou son représentant communique aux entreprises ou administrations intervenant sur un chantier de visite, d'inspection ou de travaux de tunnel ou de tranchée couverte, le plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé (PGCSPS). Il a pour objet de définir les mesures de sécurité que les entreprises doivent scrupuleusement respecter à l'occasion de leur travail ou de leurs déplacements, en vue d'éviter les risques d'accidents. Chaque entreprise ou administration doit, à son tour, établir un plan particulier en matière de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) qui adapte les principes du PGCSPS à la nature des travaux qu'elle exécute.

Le PPSPS a pour objet de définir les mesures essentielles que doit prendre l'entreprise pour assurer la propre sécurité de son personnel, ainsi que celle des usagers de la voie concernée et des personnes étrangères au chantier autorisées à y accéder. Le document concerne également les mesures de maintien en excellent état de marche et d'entretien du matériel, des véhicules et des installations utilisés sur toute l'étendue du chantier.

Dans les cas où le PGCSPS n'est pas obligatoire, il est recommandé aux services organisationnels et opérationnels, d'établir une « Notice Particulière » comprenant au minimum :

- l'identification des risques (en particulier la configuration du tracé pour les problèmes de visibilité),
- les précautions à prendre pour gérer l'évacuation des gaz polluants et des poussières,
- les conditions d'éclairage,
- les modalités de protection du personnel des entreprises vis-à-vis de la circulation routière,
- la gestion des liaisons entre les intervenants et l'extérieur,
- les consignes d'intervention.

Annexe 1.1 Les risques d'accidents du travail – La réglementation

Conditions générales

Indépendamment de la bonne observation du Code du Travail et de celui de la Sécurité Sociale, les entreprises ou les administrations, qui interviennent sur des chantiers en tunnel ou en tranchée couverte, doivent respecter la réglementation spécifique mise en place afin d'empêcher les risques d'accidents.

Les dispositions à prévoir et les dispositions légales générales d'hygiène et de sécurité qui régissent cette réglementation sont répertoriées dans l'annexe 7 du fascicule 2 de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (ITSEOA).

L'actualisation de cette réglementation est faite par le dictionnaire permanent « Sécurité et conditions de travail » qui fait l'objet d'une mise à jour continue.

Ces règles ne concernent que les interventions programmées, en relation avec la surveillance et l'entretien courant. Les situations d'urgence et les réparations sont régies par leur propre réglementation.

Annexe 1.2 - Dispositions particulières – Mesures de sécurité

Les interventions en tunnel creusé ou en tranchée couverte

Les interventions en tunnel ou en tranchée couverte comportent généralement des dangers supérieurs à ceux des travaux à l'air libre, tant par leur nature et leur localisation très souvent en voûte, qu'en raison des niveaux réduits d'éclairage, de la présence de zones d'ombre diminuant la visibilité, de l'humidité réduisant les coefficients d'adhérence, du confinement latéral rendant les manœuvres plus délicates, de la pollution...

Toutes les dispositions appropriées pour les éviter doivent être prises en temps utile. Le service en charge de l'exploitation de la voie doit toujours examiner si la circulation peut être maintenue en toute sécurité, compte tenu de la nature des travaux et de leurs éventuelles répercussions, aussi bien sur les conducteurs que sur les acteurs de la surveillance et de l'entretien.

Lors des inspections périodiques, pour des raisons d'hygiène et de sécurité, il est très fortement recommandé que le tube inspecté soit totalement fermé à la circulation.

En dehors des prescriptions réglementaires concernant la signalisation temporaire nécessitée par les chantiers, les dispositions complémentaires suivantes sont à prendre :

- éclairage fixe du tunnel ou de la tranchée couverte (quand il existe) : mis au régime maximal pendant toute la durée du chantier et sur toute la longueur de l'ouvrage, sauf si celui-ci fait plusieurs kilomètres,
- emprise du chantier : éclairage général avec des moyens puissants pour attirer de loin l'attention des conducteurs,
- signalisation de position et signalisation routière temporaire : même dans les tunnels ou tranchées couvertes équipés d'un éclairage fixe, les signaux et panneaux réglementaires, qui sont normalement réflectorisés, doivent être éclairés ou munis de feux à éclats synchronisés.

Il est à noter qu'en matière de balisage et en particulier dans les tunnels courts, il est déconseillé de débiter un balisage de neutralisation de voie (biseau) à l'intérieur d'un tunnel. La pré-signalisation et le biseau de réduction de voie sont obligatoirement effectués avant l'entrée dans le tunnel.

Le service en charge de l'exploitation de la voie doit examiner l'opportunité d'une limitation de la vitesse plus stricte qu'à l'air libre en fonction de la nature des travaux, des conditions d'éclairage et de balisage possibles dans le tunnel ou la tranchée couverte.

Les mesures à prendre contre la pollution produite par les différents engins de chantier, et prévues dans le PPSPS, doivent en principe suffire pour que les usagers, qui ne séjournent qu'un temps relativement court dans l'ouvrage, ne soient pas gênés. Rappelons que, pour la sécurité du personnel intervenant sur le chantier, il convient de respecter les seuils fixés par l'AFTES (GT 27 – Recommandations du TOS n°176 de 2003) avec les prescriptions de la CRAM et de l'OPPBT.

Toutefois, en cas de circulation alternée, de ralentissement ou d'arrêt prolongé, le service en charge de l'exploitation de la voie veille à ce que les usagers ne soient pas gênés tant par les dégagements de polluants propres au chantier que par ceux provenant des véhicules eux-mêmes.

Il est souhaitable que les engins d'intervention utilisés pour effectuer les inspections soient équipés d'un dispositif efficace d'épuration des gaz d'échappement (catalyse, barbotage).

L'outillage électrique utilisé est de classe II avec protection 30 mA.

Les interventions dans les gaines techniques ou de ventilation et dans les puits de ventilation

Les interventions dans les gaines techniques et de ventilation ne peuvent s'effectuer qu'après un repérage complet des réseaux existants. Les intervenants doivent être équipés d'un détecteur de CO avec alarme sonore pour prévenir les risques d'asphyxie.

Si la circulation attendue dans l'ouvrage est importante, il est préférable de mettre en place des dispositifs visant à réduire la capacité de l'ouvrage.

La visite de ces espaces confinés pouvant être très longue, elle ne doit se faire qu'en l'absence de circulation dans le tube et après une ventilation forcée de plusieurs minutes, destinée à renouveler l'atmosphère. Ensuite il est nécessaire de faire condamner les automatismes de commande de la ventilation pendant toute la durée de l'intervention.

Les puits de ventilation sont visités par des cordistes habilités munis des équipements de protection individuels (EPI) adaptés. Les interventions se font par binôme (un seul cordiste en inspection, l'autre à l'extérieur du puits), en liaison radio permanente. Les cordes font l'objet d'un examen détaillé avant intervention.

Le cordiste d'intervention est, par ailleurs, équipé d'un éclairage frontal et d'un masque de protection pour lutter contre des remontées intempestives de fumée.

Annexe 1.3 - Plan de prévention-type

Nature de l'opération
Lieu de l'opération
Dates prévues : début et fin des travaux

MAITRE D'OUVRAGE
Nom :
Adresse :
Tél :

ENTREPRISE EXTERIEURE
Raison sociale
Adresse
Date de la commande :
Nature des travaux :
Lieu d'intervention :
Date prévue de début de travaux :
Date prévue de fin de travaux :
Nom et qualification du responsable des travaux :
Effectif travaillant sur le site :

LISTE DES POSTES RELEVANT D'UNE SURVEILLANCE MEDICALE PARTICULIERE
.....

ORGANISATION DES PREMIERS SECOURS
.....

CONSIGNES DE SECURITE A RESPECTER SUR LE SITE DES TRAVAUX
.....

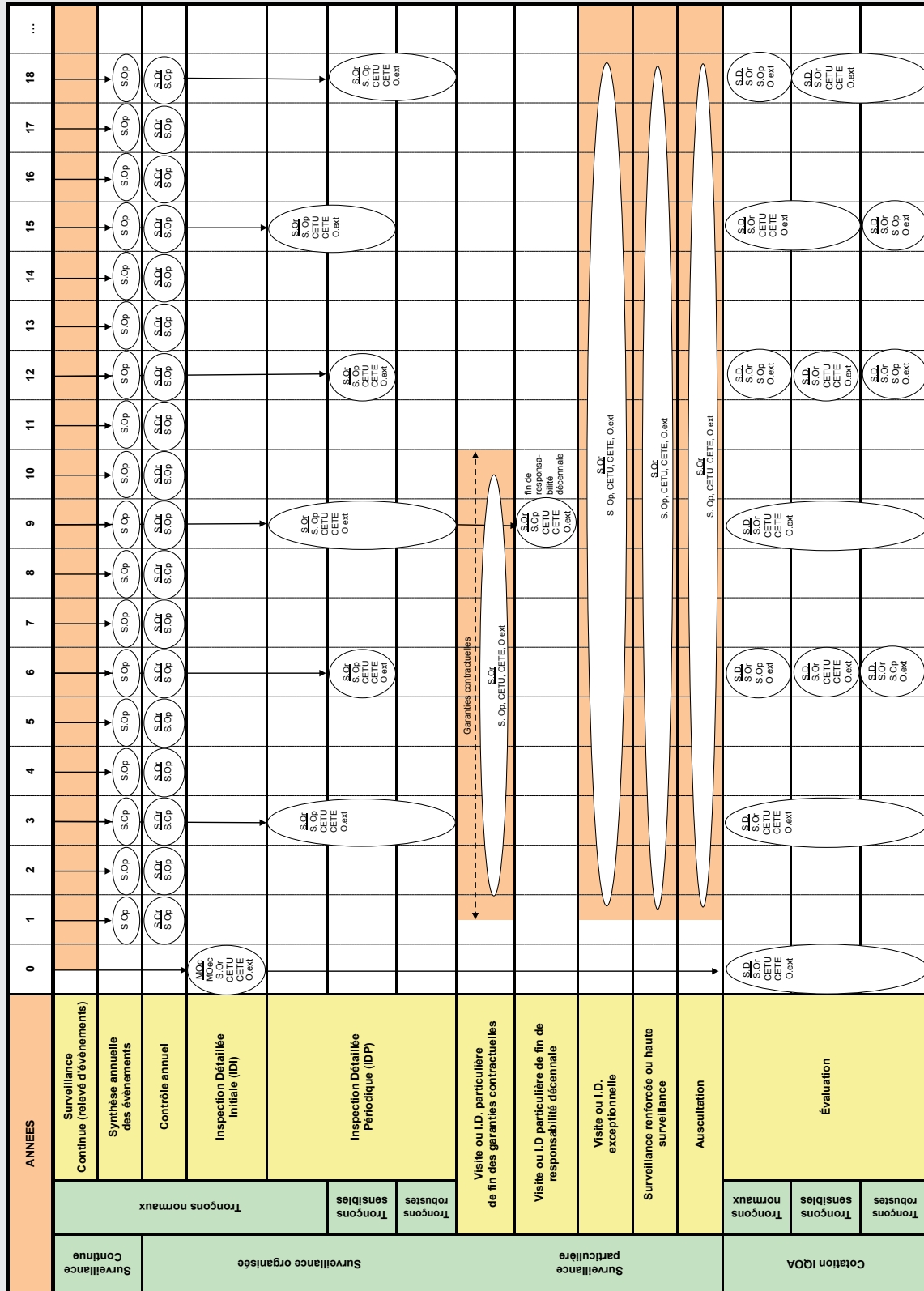
MODALITES D'INFORMATION DES SALARIES INTERVENANT SUR LE SITE PAR LE RESPONSABLE DES TRAVAUX
.....



LES RISQUES ET LEURS MOYENS DE PREVENTION

Définition des risques	Moyens de prévention
Heurt par véhicules	<ul style="list-style-type: none"> • Équiper tous les véhicules de l'entreprise d'un marquage arrière, de bandes rétro-réfléchissantes, de gyrophare orange • Porter des protections individuelles (tenues conformes aux normes en vigueur) • Mettre en place la signalisation temporaire • Mettre en marche l'éclairage • Indiquer au personnel les consignes éventuelles
Blessures causées par rupture de canalisations existantes en service (eau, gaz, électricité)	<ul style="list-style-type: none"> • Repérer les réseaux existants • Afficher les mentions : Ne pas toucher, ne pas déplacer
Asphyxies, fumées	<ul style="list-style-type: none"> • Détecter le CO • Pratiquer un aérage • Utiliser les masques de protection à filtres
Bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Porter les protections auditives
Chute de grande hauteur	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une nacelle élévatrice ou un échafaudage avec un personnel disposant du certificat d'aptitude à la conduite en sécurité (CACES) correspondant au matériel employé • Pour les conducteurs de matériels, avoir une autorisation de conduite de l'employeur • Utiliser le harnais de sécurité
Incidents en cours d'opération dans les puits, les gaines ou tous autres lieux difficiles d'accès.	<ul style="list-style-type: none"> • Intervenir par binôme avec : <ul style="list-style-type: none"> - Dans le cas des puits verticaux, un seul cordiste en inspection, le deuxième à l'extérieur du puits - Une liaison radio permanente - Un harnachement contrôlé et vérifié - Une corde de secours
Remise en route intempestive de la ventilation en cours d'opération dans les gaines techniques	<ul style="list-style-type: none"> • Faire condamner les automatismes de commande de la ventilation par l'exploitant
Électrocution	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un appareillage de classe II et protégé 30 mA.
Coupure de l'éclairage	<ul style="list-style-type: none"> • Se munir d'un éclairage de secours frontal

Annexe 2 - Logigramme d'organisation de la surveillance du génie civil des tunnels



Signification des abréviations et des sigles

S.D. Service décisionnel
 S.Or Service organisationnel
 S.Op Service opérationnel
 O.ext Organisme extérieur

CETE Centre d'études techniques de l'Équipement
 CETU Centre d'études des tunnels
 MOc maître d'ouvrage des travaux de construction ou de réparation
 MOec maître d'œuvre des travaux de construction ou de réparation

Annexe 3 - Marquage d'un tunnel

But du marquage

Quelles que soient les actions de surveillance ou d'exploitation, il est nécessaire de localiser avec précision les constatations effectuées.

Un repérage est alors matérialisé par des plaques fixées sur le parement de l'intrados. On parle alors de « points métriques » ou PM.

Lorsqu'il y a des gaines de ventilation, chaque gaine doit être marquée de la même façon. Les points métriques des gaines doivent coïncider avec ceux du tube principal.

Le marquage est essentiellement destiné au relevé d'intrados (voûtes, traverses, piédroits) effectué depuis le sol ou une nacelle, par l'équipe de spécialistes en charge de l'inspection détaillée.

Un espacement de 10 m (marquage décamétrique) doit être adopté. En effet, il est impossible de se repérer rapidement avec un marquage trop espacé.

Dans le cas d'un ouvrage comportant plusieurs tubes et/ou galeries, chacun d'entre eux aura son propre marquage, mais **le sens de ces marquages sera le même.**

Dans un souci d'homogénéité avec l'itinéraire, il est de règle d'adopter pour les PM **le même sens que les PR** de l'itinéraire.

Réalisation du marquage

Le maître d'ouvrage constructeur est responsable de la mise en place du marquage.

Origine du marquage

Les entrées en tunnel ou en tranchée couverte sont parfois complexes (casquettes, têtes architecturales...) et la véritable entrée en souterrain n'est plus visible.

Aussi, par souci de simplification, et **pour les ouvrages à venir** (ou non encore marqués), on adopte comme **PM 0 le premier profil en travers fermé.**

Pour les besoins de la surveillance, la position réelle des fronts d'entrée en souterrain peut toujours être recalculée à l'aide des archives de construction et reportée en marges des levés.

Pérennité du marquage

Indispensable à la surveillance de l'ouvrage, le marquage doit être :

- **Conservé durant toute la vie de l'ouvrage**

Les inspections détaillées relèvent de très nombreuses indications s'appuyant sur le marquage existant. Dans le cas où le marquage existant n'est pas homogène avec l'itinéraire, ou a une origine peu logique, on le conserve néanmoins dans le souci de pérennité de suivi. Il ne doit pas être modifié.

- **Précis**

La méthode la plus sûre, nécessitant un géomètre, consiste à placer des PM précis, calculés à partir de l'axe du tube (et non du projet), sur l'un des parements.

En l'absence de géomètre, ou pour des tunnels anciens ou courts, un ruban métrique (le plus long possible) est déroulé pour déterminer l'emplacement du marquage. Cette méthode demande un grand soin car les erreurs de calage peuvent rapidement se cumuler jusqu'à atteindre 2 à 3 % de la longueur totale.

L'emploi des odomètres est déconseillé, leur usure entraînant de fortes erreurs cumulées. Il en est de même des topofils.

- **Fixé à l'abri des accrochages et du vandalisme**

Une hauteur minimale de 2 m est une sécurité.

- **Lisible de loin (8 à 10 m de distance) aussi bien à pied qu'en voiture**

Les chiffres ont une hauteur de 8 à 10 cm.

- **Régulièrement entretenu (remplacement des plaques)**

Un nettoyage périodique est nécessaire.

Si les plaques doivent être fixées sur des éléments remplaçables (tôles parapluie, bardages...), on veille à les récupérer pour leur repose précise.

Nature des plaques

Les plaques en aluminium embouti de type « minéralogique » sont adaptées aux supports irréguliers comme les maçonneries. Sensibles à la corrosion dans certains tunnels, elles deviennent progressivement difficiles à lire.

Les plaques plastiques gravées ou sérigraphiées conviennent pour les parements lisses, comme ceux en béton coffré. Fragiles aux chocs et supportant mal les déformations, elles ont l'avantage d'être inaltérables.

Dans les deux cas, il faut prohiber les plaques rétro-réfléchissantes incompatibles avec les méthodes de relevé en continu (scanner...).

Fixation des plaques

Il existe différents moyens de fixation :

- par spits : suivant le support, la tenue est aléatoire et la durée de vie assez courte,
- par cheville et vis mécanique : c'est le meilleur système, il s'adapte à tous les supports ; sur des tôles, on utilisera des vis parker ; l'emploi d'inox est impératif,
- par scellement au ciment prompt : ce moyen est à éviter (décollements rapides),
- par collage à la résine (ou colles spéciales).

Annexe 4 - Principe de tronçonnage d'un tunnel

Le tronçonnage permet de visualiser, sous forme synoptique, des parties homogènes du génie civil de l'ouvrage.

Il consiste à découper l'ouvrage en tubes et les tubes en tronçons.

- **Tubes**

Un tunnel est composé d'un ou de plusieurs tubes contenant une ou plusieurs voies de circulation. Un tube comporte deux extrémités appelées têtes. Par convention, une tête a une longueur minimale d'un mètre.

Un tunnel peut aussi comporter des galeries ; celles-ci sont considérées comme des tubes et peuvent être également tronçonnées.

- **Tronçons**

Un tronçon est une section homogène du tube, définie par deux points métriques de début et de fin (PM), en termes de caractéristiques géométriques (hauteur et largeur), géotechniques (sols encaissants) et mécaniques (structure et matériaux).

Définis à la construction, les tronçons ne varient pas dans le temps, sauf cas exceptionnel comme une réparation lourde, par exemple.

- **Élaboration du document synoptique**

L'élaboration du document synoptique est à la charge du maître d'ouvrage constructeur, pour les tunnels neufs, ou à celle du maître d'ouvrage gestionnaire, pour les ouvrages anciens. Ce synoptique est ensuite fourni par le service organisationnel du maître d'ouvrage gestionnaire avant chaque inspection. Un exemple de document synoptique est fourni ci-après.



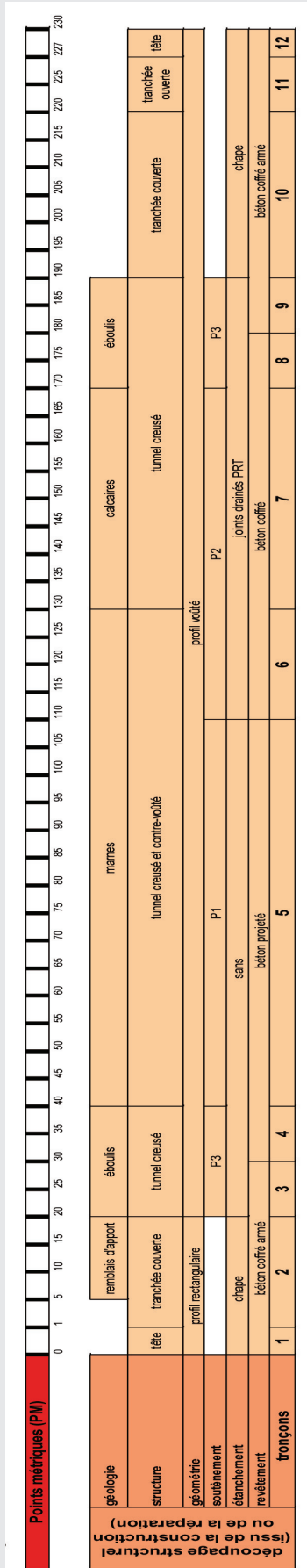
- Tunnels neufs (ou récents)

Le découpage de l'ouvrage en tronçons doit être élaboré par le service ayant assuré la maîtrise d'ouvrage de la construction. Il doit faire partie du dossier d'ouvrage.

Tous les tronçons sont repérés en fonction des PM définitifs de l'ouvrage qui sont reportés sur le synoptique. Il est nécessaire que des recalages précis soient faits à partir des divers PM de chantier utilisés. Afin de pouvoir par la suite établir des corrélations éventuelles entre désordres et structures, les limites exactes des tronçons doivent s'appuyer sur les données du suivi de chantier.

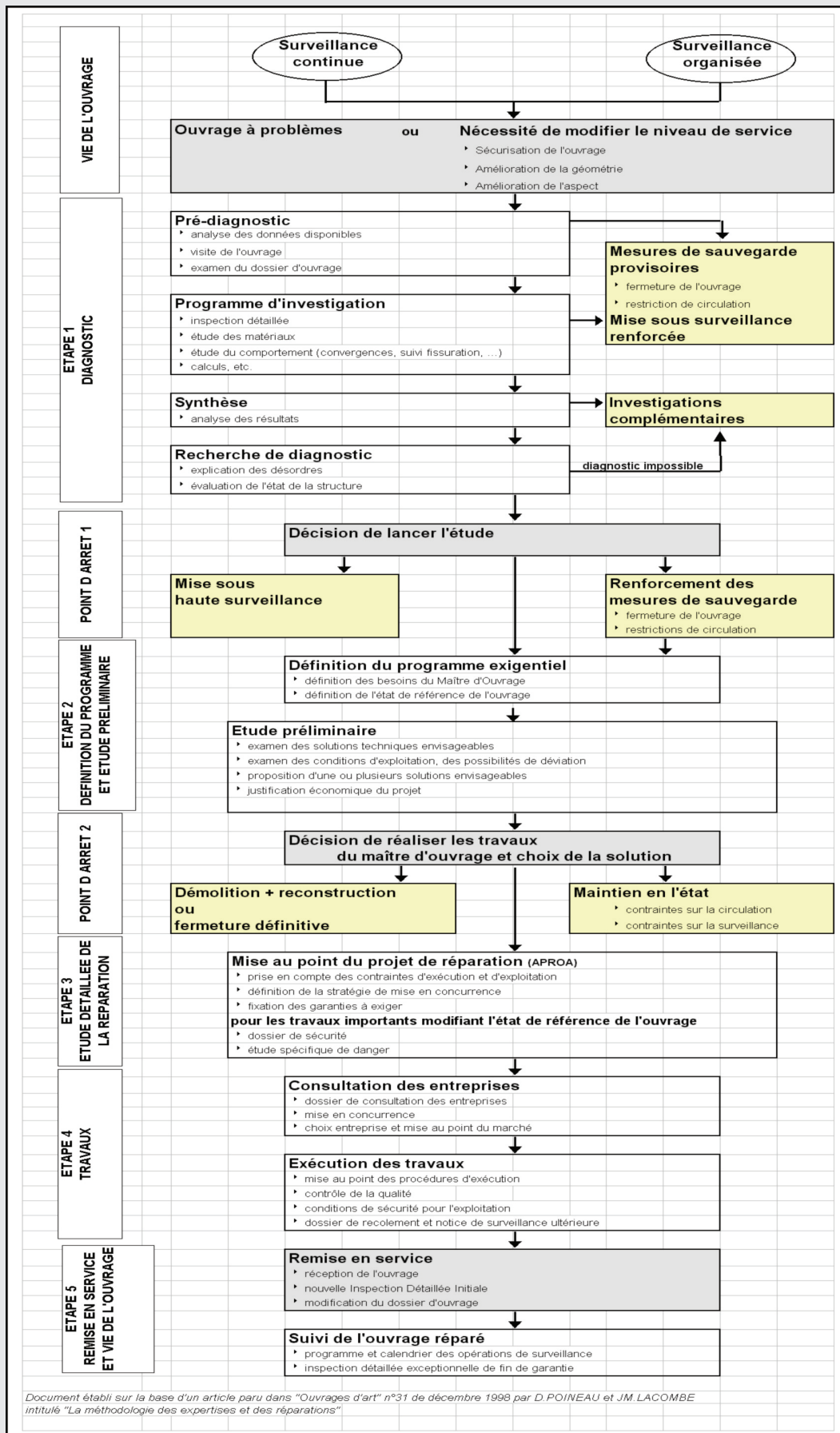
- Tunnels anciens (ou sans archives)

On établit le document synoptique à l'aide de toute la connaissance rassemblée.



Document synoptique illustrant le découpage d'un tunnel par tronçons

Annexe 5 - Logigramme d'une démarche de réparation



Le présent fascicule est un guide d'application de l'instruction technique relatif aux dispositions particulières pour la surveillance et l'entretien des tunnels creusés, tranchées couvertes et ouvrages routiers similaires. Il est destiné aux maîtres d'ouvrage en charge de l'exploitation, de l'entretien et de la gestion du réseau routier national non concédé (RRN-NC) mais peut servir de référence à tout maître d'ouvrage en charge d'une structure du même type.

Les éléments contenus dans ce fascicule sensibilisent le lecteur aux spécificités relatives à l'entretien et la surveillance des ouvrages (causes et natures des désordres, moyens de reconnaissance et d'auscultation, stabilité pendant les travaux, nature et complexité des équipements). A eux seuls, ils ne suffisent pas à définir les conditions d'intervention et de réalisation des actions d'entretien et de surveillance.



Centre d'Études des Tunnels

25 avenue François Mitterrand

Case n°1

69674 BRON - FRANCE

Tél. 33 (0)4 72 14 34 00

Fax. 33 (0)4 72 14 34 30

cetu@developpement-durable.gouv.fr

