

## ANNEXE A – POINTS FAIBLES TYPIQUES ET MESURES DE MISE À NIVEAU POSSIBLES

La liste ci-dessous n'est pas exhaustive : elle ne fournit que quelques exemples illustrant la manière dont peuvent varier les solutions d'un cas à un autre. Ces exemples ne doivent pas être considérés comme éléments d'une liste de vérification : ils ne sont fournis qu'à titre indicatif.

### A.1. SYSTÈMES DE DRAINAGE

Description du problème de sécurité : ces deux cas décrivent le problème typique d'adaptation des systèmes de drainage dans les tunnels routiers existants afin de gérer les incidents impliquant des véhicules transportant des matières dangereuses (scénarios d'écoulement accidentel ou d'incendie).

#### A.1.1. Construction de caniveaux avec siphons, pare-flammes et rigoles

##### Objectif :

- réduire l'écoulement sur la chaussée en cas de fuite, surtout avec les matières dangereuses ;
- réduire l'intensité des incendies (taille, évolution au fil du temps, propagation, etc.) ;
- éviter la propagation des incendies dans le système d'évacuation ;
- aucun système de surveillance requis.

##### Conditions de construction :

- mise en place possible lors de fermetures nocturnes en ne fermant qu'une voie, si possible ;
- faible impact sur le trafic ;
- peu de perturbation pour les usagers ;
- renforcement temporaire de la signalisation et des patrouilles ;
- le système d'évacuation doit être entièrement renouvelé.

##### Conséquences sur l'exploitation :

- procédures de maintenance supplémentaires pour le nouveau système.

#### A.1.2. Construction de réservoirs

##### Objectif :

- amélioration de la sécurité au niveau des têtes du tunnel ;
- protection de l'environnement (ressources en eau).

**Conditions de construction :**

- construction à l'extérieur de l'espace de circulation ;
- aucune perturbation pour les usagers ;
- renforcement temporaire de la signalisation et des patrouilles.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- maintenance requise ;
- impact sur le système SCADA (nouveaux capteurs sur le système existant) ;
- adapter le plan d'intervention d'urgence.

**A.2. PROTECTION CONTRE LES INCENDIES**

Description du problème de sécurité : les structures ou les systèmes mécaniques et électriques doivent être protégés afin de maintenir les conditions d'exploitation en cas d'incendie. Ces exemples concernent des cas où la résistance au feu des structures puis des câbles est insuffisante.

**A.2.1. Tenue au feu des structures****Objectif :**

- protection au feu des structures.

**Impact de la pose des protections :**

- en cas de travaux complexes associés à de lourdes réparations : fermeture du tunnel nécessaire ;
- en cas de réparation des panneaux de protection ou des systèmes d'arrosage : fermetures nocturnes. La période de fermeture dépend de la méthode et de l'organisation ;
- impact sur le trafic ;
- perturbation pour les usagers.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- révision du plan d'intervention et d'urgence ;
- l'installation des protections peut nécessiter la dépose / repose des équipements (éclairage, caméras, etc.).

**A.2.2. Protection au feu des câbles****Objectif :**

protection des câbles.

**Conditions de construction pour la protection des câbles :**

- construction d'un caniveau à câbles ou autre installation ;
- généralement complexe : les câbles doivent être temporairement retirés, leur fonction doit être maintenue ;
- la construction est possible lors de fermetures nocturnes des voies ;
- une partie des travaux nécessite la fermeture du tunnel. La période de fermeture dépend de la méthode et de l'organisation ;
- impact sur le trafic ;
- perturbation pour les usagers.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- révision du plan d'intervention et d'urgence.

**A.3. PROBLÈMES DE RÉNOVATION FRÉQUENTS QUI NÉCESSITENT DES SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ET DE CONTRÔLE**

Description du problème de sécurité : il est possible que certains tunnels routiers anciens ne disposent pas de systèmes de surveillance appropriés ni de réseau SCADA. Ici, l'objectif est de mettre en place ces systèmes de façon à ce que le tunnel soit conforme aux normes et aux objectifs réglementaires en termes de plans d'exploitation et d'intervention d'urgence. Si ces systèmes sont en place, certaines modifications peuvent s'avérer nécessaires suite à des modifications d'autres systèmes.

**A.3.1. Systèmes de signalisation****Objectif :**

- améliorer la signalisation et la communication avec les usagers ;
- améliorer le balisage vers les itinéraires d'évacuation ;
- améliorer la gestion du trafic ;
- panneaux pour interrompre le trafic à l'entrée et à l'intérieur du tunnel (barrières, feux) ;
- surveillance par le centre de contrôle.

**Impact sur la phase de construction :**

- signalisation sur la paroi : construction possible lors de fermetures nocturnes par voie ;
- signalisation au-dessus de l'espace de trafic : préparation à l'extérieur, mise en place et fixation lors de brèves fermetures nocturnes ;
- câbles d'alimentation et de contrôle à distance : lors de fermetures nocturnes des voies ;
- faible impact sur le trafic ;
- peu de perturbation pour les usagers ;
- renforcement temporaire de la signalisation et des patrouilles ;
- essai lors de périodes à faible trafic.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- révision du plan d'intervention d'urgence ;
- mise à jour du logiciel SCADA nécessaire.

**A.4. ISSUES DE SECOURS**

Description du problème de sécurité : ces cas illustrent le problème de mise en place de nouvelles issues de secours dans le but de réduire la distance entre les sorties de façon à ce que le tunnel soit conforme aux exigences prescriptives.

**A.4.1. Exemple pour des tunnels bitubes****Situation du tunnel :**

- tunnel bitube unidirectionnel ;
- bon état de la chaussée.

**Conditions de construction :**

- si la fermeture d'un tube est possible :
  - aucune difficulté particulière, le système peut être établi pour rouvrir chaque matin à l'heure ;
- si la fermeture d'un tube n'est pas possible :
  - construction de nuit,
  - fermeture de la voie de gauche et rétrécissement de la voie de droite,
  - brèves fermetures temporaires ;

**Solutions alternatives :**

- galeries de communication ;
- création d'une galerie d'évacuation parallèle.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- adaptation du plan d'intervention d'urgence (accès de l'équipe de secours) ;
- dispositifs de surveillance (mise à niveau SCADA) ;
- exploitation potentielle en conditions d'exploitation minimales pendant les travaux.

**A.4.2. Exemple pour un tunnel monotube****Situation du tunnel :**

- tunnel monotube bidirectionnel, 2 voies.

**Conditions de construction :**

- connexions spéciales nécessaires pour les abris ;
- procédures d'exploitation particulières.

**Solutions alternatives :**

- construction de nouvelles issues de secours ;
- galerie parallèle comme itinéraire d'évacuation depuis les abris ;
- utilisation de l'espace du tube du tunnel existant pour un nouveau passage d'évacuation protégé contre les incendies (par exemple sur la couronne, la paroi ou le radier).

**Conséquences sur l'exploitation :**

- adaptation du plan d'intervention d'urgence (accès de l'équipe de secours et évacuation des usagers) ;
- surveillance (mise à niveau SCADA) ;
- fermeture totale du tunnel pendant les travaux.

**A.5. SYSTÈMES DE VENTILATION**

Description du problème de sécurité : ces cas illustrent le problème typique de mise à niveau des systèmes de ventilation dans les tunnels existants afin d'atteindre les objectifs de sécurité. C'est le cas lorsque le tunnel existant a été construit avant la modification des réglementations ou après qu'une évaluation des modifications significatives en termes de trafic a été réalisée.

**A.5.1. Exemple pour un tunnel simple unidirectionnel à 2 tubes****Situation du tunnel :**

- tunnel bitube unidirectionnel ;
- système de ventilation existant : longitudinal ;
- une augmentation du trafic et certaines conditions d'incendie imposent un flux d'air plus important ou plus rapide ;
- solution : ajouter des ventilateurs supplémentaires.

**Conditions de construction :**

- les nouvelles ventilations peuvent être installées pendant de brèves fermetures du tunnel ;
- une alimentation électrique supplémentaire peut être installée pendant la nuit avec une voie fermée ;
- modification du système SCADA, peut être testée lors de périodes à faible trafic.

**Solutions alternatives :**

- des injecteurs Saccardo peuvent être installés aux têtes du tunnel ou des rangées de ventilateurs aux têtes du tunnel sur la partie surélevée de la couronne (solutions coûteuses) ;
- puits intermédiaires, notamment pour les tunnels urbains ;
- en fonction de la longueur, des systèmes de désenfumage placés à intervalles réguliers peuvent être nécessaires.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- adaptation du plan d'intervention d'urgence (accès de l'équipe de secours).

Dans une situation complexe (par exemple : bouchons fréquents, bretelles dans le tunnel, etc.), d'autres exigences de rénovation pourraient s'avérer nécessaires, par exemple :

- contrôle et gestion du flux d'air longitudinal ;
- prise en compte particulière de certains aspects tel que l'échelonnage des travaux et la modification des plans d'urgence et des conditions d'exploitation en fonction.

**Situation du tunnel :**

- tunnel bitube unidirectionnel ;
- la ventilation existante peut être longitudinale ou semi-transversale ;
- nombreux bouchons ;
- conditions atmosphériques particulières au niveau des têtes du tunnel, avec un flux d'air naturel important à l'intérieur du tunnel.

**Exigences de renouvellement :**

- contrôler et gérer la vitesse de l'air longitudinal ;
- créer ou conserver les systèmes de désenfumage (systèmes de désenfumage, trappes).

**Conséquences en termes de génie civil :**

- vérification de toutes les conditions possibles ;
- analyse très détaillée de la méthode de construction, afin de prévoir une durée de construction à plus ou moins un jour près ;
- échelonnage de la stratégie de travaux en fonction des possibilités de fermeture ;
- en cas de phasage : évaluation des conditions de sécurité lors des réouvertures temporaires entre deux phases de construction ;
- étude et contrôle étroits des travaux d'amélioration afin de respecter le programme.

**Solutions de contrôle de la vitesse de l'air :**

- mise en place d'amplificateurs d'air à chaque tête de tunnel ;
- installation d'accélérateurs d'air ou d'injecteurs d'air ;
  - construire des niches pour installer les accélérateurs ;
  - adapter l'alimentation électrique et le réseau de transmission de données ;
  - modifier le système SCADA ;
- organisation des travaux d'amélioration ;
  - les travaux pour les niches imposent une fermeture du tube ;
  - autres travaux comme dans l'exemple précédent.

Il est également possible que le système de contrôle de la ventilation ne soit pas automatisé voire prévu. Dans certains cas de ce type, si une intervention spécifique en termes de ventilation est requise, l'exploitant doit effectuer une vérification manuelle et

dans d'autres cas, le système de contrôle de la ventilation requiert des informations précises provenant des capteurs qui nécessitent une mise à niveau. De plus, dans certains tunnels existants, il peut s'avérer nécessaire de mettre à niveau les ventilateurs afin d'améliorer la résistance aux incendies.

### A.5.2. Contrôle de la ventilation

#### Objectif :

- fournir ou améliorer le contrôle de la ventilation automatique en conditions d'exploitation normales et en cas d'incendie.

#### Conditions de construction :

- des anémomètres peuvent être requis ;
- étude de la réelle poussée des ventilateurs et de leur temps de réaction ;
- des essais à échelle réelle nécessiteraient la fermeture du tunnel pendant de courtes périodes, de préférence la nuit ou en périodes de faible trafic ;
- faible impact sur les usagers ;
- modifications du système SCADA.

#### Conséquences sur l'exploitation :

- adaptation du plan d'intervention d'urgence ;
- modification du système SCADA.

### A.5.3. Capteurs de pollution et anémomètres

#### Objectif :

- équiper le tunnel d'un grand nombre de capteurs de pollution et d'anémomètres ;
- augmenter la quantité d'informations sur la qualité de l'air à l'intérieur du tunnel et améliorer la faculté de récupération du système en cas de panne d'un capteur.

#### Conditions de construction :

- de nouveaux dispositifs peuvent être installés lors d'une brève fermeture des voies ;
- cela peut être réalisé de nuit ou en périodes de faible trafic ;
- très peu de conséquences pour les usagers ;
- nécessite des modifications du système SCADA ;
- les dispositifs de réception de signaux peuvent nécessiter des modifications.

#### Conséquences sur l'exploitation :

- maintenance ;
- modification du système SCADA (nouveaux signaux).

### A.5.4. Résistance des ventilateurs à la chaleur

**Objectif :**

- équiper le tunnel de ventilateurs résistants à la chaleur ;
- ajouter des protections de câbles si nécessaire.

**Conditions de construction :**

- les ventilateurs peuvent être remplacés lors de brèves fermetures du tunnel ;
- le système SCADA doit être testé ;
- faible impact sur les usagers ;
- faibles conséquences sur le trafic ;
- renforcement temporaire de la signalisation et des patrouilles ;
- test en périodes de faible trafic.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- maintenance ;
- adaptation du plan d'intervention d'urgence.

### A.6. TÉLÉVISION EN CIRCUIT FERMÉ (TCF) ET SYSTÈME DE DÉTECTION AUTOMATIQUE D'INCIDENT (DAI)

Description du problème de sécurité : il peut arriver qu'aucun système de télévision en circuit fermé et/ou de détection automatique d'incident ne soit installé dans les tunnels routiers anciens. Ici, l'objectif serait de mettre en place ce type de systèmes afin d'être conforme avec les normes réglementaires et d'améliorer le temps de réponse en cas d'incident dans le tunnel. Dans les tunnels existants qui disposent d'un système de TCF, il peut s'avérer nécessaire de le mettre à niveau et/ou de remplacer les caméras si un nouveau système de DAI est sur le point d'être installé.

#### A.6.1. Bon positionnement des caméras

**Objectif :**

- éviter l'éblouissement des caméras à cause de la lumière extérieure. Positionner la dernière caméra en l'orientant vers l'intérieur ;
- faciliter la détection par le système de DAI. Bon espacement entre les caméras ;
- éviter d'avoir un trop grand nombre d'images dans le centre de contrôle. Bon espacement entre les caméras ;
- fournir une couverture à 100 %.

**Conditions de construction :**

- conséquences sur le trafic, en raison de la fermeture d'une voie ou du tunnel entier ;
- mise en place possible la nuit et fermeture d'une voie.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- reconfiguration du serveur vidéo ;
- génération de nouveaux masques et reconfiguration du système de DAI ;
- reprogrammation et reconfiguration du système SCADA ;
- adaptation du plan d'intervention d'urgence.

**A.6.2. Détection automatique d'incident (DAI)****Objectif :**

- détecter immédiatement tout incident, afin de gérer l'urgence de façon efficace ;
- automatiser le plan d'intervention d'urgence.

**Conditions de construction :**

- s'il est nécessaire de modifier le système de transmission des caméras, ou d'ajouter de nouveaux équipements pour cela, cette modification peut être effectuée de nuit en fermant une voie ;
- nouveaux équipements dans les salles techniques au niveau des têtes du tunnel et dans le centre de contrôle.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- reprogrammation et reconfiguration du système SCADA ;
- adaptation du plan d'intervention d'urgence.

**A.7. SYSTÈME DE CONTRÔLE**

Description du problème de sécurité : dans certains tunnels existants, il peut s'avérer nécessaire de mettre à niveau le système de contrôle car il n'est pas redondant au niveau du réseau, au niveau des équipements et/ou au niveau du système SCADA.

**A.7.1. Redondance du système SCADA****Objectif :**

- protéger le système de contrôle contre toute panne du réseau de communication, contre les pannes d'équipements (commutateurs, automates programmables, serveurs, etc.) ou contre les problèmes informatiques.

**Conditions de construction :**

- si l'installation de nouveaux câbles à fibre optique est nécessaire, elle doit être réalisée dans un chemin de câbles ou dans une conduite sous la route ou la chaussée. Construction possible de nuit en fermant une voie ;
- si l'installation d'un nouvel équipement est nécessaire, elle sera effectuée dans les salles techniques et dans le centre de contrôle, de manière à ce que le trafic ne soit pas trop perturbé ;

- si l'amélioration du système informatique de contrôle est nécessaire, elle sera effectuée uniquement dans le centre de contrôle, afin de ne pas perturber le trafic.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- adaptation du plan d'intervention d'urgence ;
- reprogrammation et reconfiguration du système SCADA.

**A.8. SYSTÈMES DE COMMUNICATION**

Description du problème de sécurité : il peut arriver qu'aucun système de communication radio et/ou système de diffusion publique ne soit installé dans des tunnels routiers anciens. Ici, l'objectif est de mettre en place ce type de systèmes afin d'être conforme avec les normes réglementaires et les objectifs.

**A.8.1. Communication radio****Objectif :**

- fournir un système de communication à l'intérieur du tunnel pour les services de secours, en cas d'urgence ;
- aider les usagers du tunnel à maintenir des conditions de conduite normales, en fournissant un système de diffusion radio FM.

**Conditions de construction :**

- le câble rayonnant de l'antenne sera installé dans le plafond, ce qui nécessite la fermeture totale du tunnel ;
- une antenne et des équipements d'amplification doivent être installés à proximité des têtes du tunnel ;
- les essais peuvent être réalisés dans des conditions de trafic normales.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- le personnel d'exploitation et les services de secours doivent être équipés de terminaux, afin de communiquer à l'intérieur du tunnel ;
- adaptation du plan d'intervention d'urgence.

**A.8.2. Système de diffusion publique****Objectif :**

- offrir un système d'informations direct pour les usagers du tunnel en cas d'urgence, à des fins d'assistance pour l'évacuation.

**Conditions de constructions :**

- des haut-parleurs sont généralement installés sur les parois du tunnel, ce qui impose de fermer les voies ;

- peu de perturbation pour les usagers ;
- peu de conséquences sur le trafic.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- adaptation du plan d'intervention d'urgence ;
- programmation et reconfiguration du système SCADA.

## A.9. SYSTÈME D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Description du problème de sécurité : suite à l'ajout de nouveaux équipements et d'une augmentation de la charge électrique dans un tunnel existant (systèmes de ventilation, pompes à eau pour les systèmes anti-incendie, système d'éclairage, etc.), il peut s'avérer nécessaire d'ajouter une extension au système d'alimentation électrique. Dans certains cas, il est nécessaire de fournir au tunnel des onduleurs supplémentaires afin d'assurer le fonctionnement des équipements d'urgence.

### A.9.1. Extension du système d'alimentation électrique suite à l'augmentation de la demande en énergie

**Objectif :**

- fournir l'énergie électrique nécessaire aux équipements nouvellement installés.

**Conditions de construction :**

- en premier lieu, l'estimation de la consommation d'énergie des nouveaux équipements doit être réalisée ;
- consultation auprès de la compagnie d'électricité afin de s'assurer que le réseau électrique actuel est capable de supporter l'extension, sinon une extension du réseau est nécessaire ;
- l'évaluation des équipements électriques à mettre à niveau ou à remplacer doit être réalisée (transformateur, armoires électriques, câbles, etc.) ;
- l'extension des salles techniques, là où se trouvent les équipements d'alimentation électrique, peut s'avérer nécessaire afin de recevoir les nouveaux équipements électriques ;
- certains de ces travaux peuvent être effectués de nuit, avec un faible impact sur le trafic (par exemple, le remplacement d'un transformateur électrique). Cependant, d'autres travaux peuvent avoir un impact plus conséquent (par exemple, l'extension d'une salle technique).

**Conséquences sur l'exploitation :**

- procédures de maintenance supplémentaires ;
- impact sur le système SCADA (un plus grand nombre de signaux doivent être contrôlés).

## A.9.2. Installation d'une source d'alimentation électrique secondaire

### Objectifs :

- fournir au tunnel une source d'alimentation électrique secondaire, afin d'assurer le fonctionnement des équipements de sécurité en cas de coupure de courant.

### Conditions de construction :

- estimation de l'énergie nécessaire et consultation auprès de la compagnie électrique ;
- définir les équipements du tunnel à ajouter (transformateurs, tableaux électriques, systèmes de commutation des connexions, etc.) ;
- éventuellement, extension de la salle technique pour accueillir les nouveaux équipements ;
- certains de ces travaux peuvent être réalisés de nuit, avec un impact limité pour les usagers (par exemple, le remplacement d'un transformateur). Cependant, d'autres travaux peuvent avoir un impact plus conséquent (par exemple, l'extension d'une salle technique peut nécessiter une coupure de courant pendant quelques jours).

### Conséquences sur l'exploitation :

- procédures de maintenance supplémentaires ;
- impact sur le système SCADA (un plus grand nombre de signaux doivent être contrôlés).

## A.9.3. Installation d'un onduleur

### Objectif :

- fournir au tunnel une alimentation électrique sûre, afin d'assurer le fonctionnement continu des équipements d'urgence (système de contrôle, télévision en circuit fermé, etc.).

### Conditions de construction :

- estimer l'énergie nécessaire afin de choisir l'onduleur adapté ;
- modifications des armoires électriques à faible tension (en amont et en aval de l'onduleur) ;
- ces travaux peuvent être réalisés de nuit.

### Conséquences sur l'exploitation :

- procédures de maintenance supplémentaires ;
- impact sur le système SCADA (un plus grand nombre de signaux doivent être contrôlés).

## A.10. SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE

Description du problème de sécurité : nouvelles réglementations concernant les systèmes nécessitant un éclairage dans des tunnels existants devant être mis à niveau.

### A.10.1. Mise à niveau du système d'éclairage

**Objectif :**

- améliorer le confort visuel des conducteurs ;
- être conforme aux réglementations d'éclairage dans les tunnels existants où le système d'éclairage est faible ou insuffisant.

**Conditions de construction :**

- installation de nouveaux chemins de câbles et extension de la principale armoire électrique potentiellement nécessaire ;
- le remplacement des ampoules est possible de nuit, en fermant les voies ;
- conséquences sur le trafic ;
- perturbation pour les usagers.

**Conséquences sur l'exploitation :**

- procédures de maintenance supplémentaires ;
- impact sur le système SCADA (un plus grand nombre de signaux d'entrée/de sortie).