

DÉTECTION AUTOMATIQUE D'INCIDENTS PAR ANALYSE D'IMAGES EN TUNNEL



AVERTISSEMENT

Les documents d'information ont pour but de fournir une information sur une technique ou un problème nouveau ou insuffisamment traité par ailleurs. Le lecteur pourra y trouver des repères susceptibles de l'aider dans son activité. Le contenu et les éventuelles conclusions présentés ne doivent pas être considérés comme des recommandations du CETU. Bien que le maximum soit fait pour s'assurer de la fiabilité des sources utilisées, la responsabilité du CETU ou des auteurs du document ne saurait être engagée.

Détection Automatique d'Incidents par analyse d'images en tunnel

mai 2015

Le système de Détection Automatique d'Incidents (DAI) est un outil incontournable pour détecter les événements précurseurs des incidents en tunnel routier. Les attentes des exploitants sont donc très fortes, tant cet outil d'accompagnement peut permettre de gagner du temps dans les situations où la rapidité de réaction est cruciale pour la sauvegarde des usagers.

Toutefois, les performances de certaines installations de DAI ont été décevantes, avec parfois nombre de fausses alarmes et/ou de non-détections. Pour éviter ce type de dysfonctionnement et pour s'assurer de l'efficacité d'une DAI, une réflexion doit être réalisée en amont sur les événements à détecter.

De plus, le système doit être calibré soigneusement pour trouver le meilleur compromis entre, d'une part, le minimum de non détections et de fausses alarmes, et d'autre part, un délai de détection approprié.

Ce document a pour but de présenter des pistes afin d'améliorer la fiabilité du système de DAI en tunnel et obtenir des performances optimales. Seront abordés les incidents à détecter, le fonctionnement, les performances, les modes de fonctionnement, la qualification et la maintenance. En répondant à toutes ces questions, il est possible d'avoir un système de DAI mieux adapté au besoin de l'exploitant.

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

cet@developpement-durable.gouv.fr

www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
Historique	5
Enjeux	6
Démarche	6
1 RÉGLEMENTATION	7
1.1 Vidéo-surveillance des espaces publics	7
1.2 Détection Automatique d'Incidents (DAI)	7
2 INCIDENTS À DETECTER	8
2.1 Définition d'un incident	8
2.2 Classification et choix des incidents à détecter	8
3 FONCTIONNEMENT	10
3.1 Principe de fonctionnement	10
3.2 Disposition des caméras	10
3.3 Notion de masque	11
3.4 Perturbations	12
4 PERFORMANCES	13
4.1 Préambule	13
4.2 Indicateurs	13
4.3 Facteurs influant sur les performances	15
4.4 Lien entre nombre de fonctions et fiabilité du système	15
5 MODES DE FONCTIONNEMENT	16
5.1 Fonctionnement normal	16
5.2 Cas de détection d'incident	16
5.3 Fonctions d'aide à la maintenance	17
5.4 Fonctions d'administration	17
6 RÉCEPTION ET QUALIFICATION	18
6.1 Préambule	18
6.2 Opérations préalables à la réception (OPR) et réception	18
6.3 Qualification	20
7 GARANTIE ET MAINTENANCE	21
7.1 Garantie	21
7.2 Maintenance préventive	21
7.3 Maintenance curative	22
CONCLUSION	23
GLOSSAIRE	23
ANNEXES	24
Annexe A : classification des incidents à détecter	24
Annexe B : détail des tests des matériels et des fonctions de maintenance	25
Annexe C : détail des tests des fonctions de détection par événement	26
Annexe D : exemple de fiches liées aux tests des fonctions de détection	28

INTRODUCTION

HISTORIQUE

Dans le domaine routier, un incident caractérise tout événement aléatoire susceptible de dégrader le niveau de sécurité offert à l'utilisateur. Dans un tunnel, on trouvera des événements considérés comme majeurs car dégradant fortement ce niveau de sécurité, comme les défaillances importantes des dispositifs installés, les accidents à l'intérieur de l'ouvrage ou les incendies, et des événements considérés comme mineurs, mais qui peuvent aussi être précurseurs d'événements plus graves si les conditions dégénèrent, comme les ralentissements intempestifs, les arrêts de véhicules en chaussée, ou encore le passage de piétons dans les tunnels qui leur sont interdits.

Très globalement, les mesures de sécurité peuvent être classées en deux catégories : celles à caractère préventif qui visent à limiter le nombre et la gravité des incidents et celles qui concourent à traiter les incidents lorsqu'ils surviennent.

D'un point de vue préventif, il est primordial pour un exploitant de détecter les situations anormales le plus tôt possible afin de pouvoir réagir très rapidement. Dans les tunnels longs et/ou à trafic élevé, cette détection a longtemps été assurée par les opérateurs tunnels grâce au système de télésurveillance.

Au fil du temps, de nouvelles technologies sont apparues et c'est ainsi que dans les années 90, les premiers systèmes de Détection Automatique d'Incidents (DAI) par analyse d'images vidéo ont été installés dans les Postes de Contrôle Commande (PCC) des tunnels. Un système de DAI assiste l'opérateur dans ses missions de contrôle des ouvrages en l'informant de l'apparition d'un événement pouvant être à l'origine d'une situation potentiellement dangereuse pour les usagers. L'opérateur peut alors déclencher le scénario d'intervention le mieux adapté dans les délais les plus brefs.



Mur d'images du Poste de Contrôle Commande du Centre d'Ingénierie et de Gestion du Trafic de Clermont l'Hérault.

ENJEUX

Ces dernières années, la DAI a pris une place très importante pour l'aide à l'exploitation des tunnels et de très nombreux ouvrages en sont aujourd'hui dotés. Les attentes vis-à-vis de cet outil sont fortes, car il peut permettre de gagner du temps dans des situations où la rapidité de réaction est cruciale pour la sauvegarde des usagers. Ainsi, on constate que dans plus d'un cas sur trois, la vidéo-surveillance couplée à un système de DAI est le premier des équipements à détecter les événements précurseurs des incidents.

Toutefois, il arrive que le système de DAI remonte un trop grand nombre de fausses alarmes, ce qui peut perturber les opérateurs

dans leur travail au quotidien. Inversement, il est possible que le système ne détecte pas un incident avéré ou tarde à le faire, ce qui compromet la confiance dans ce type d'outil. En termes de paramétrage, un équilibre est donc à trouver entre des réglages qui vont permettre de détecter quasiment tout mais qui vont alors générer beaucoup de fausses alarmes, et des réglages qui ne vont pas permettre de voir tous les incidents souhaités mais qui limiteront le nombre de fausses alarmes.

Il s'ensuit la nécessité d'un réglage judicieux et équilibré, mais aussi l'impérieuse exigence de le garantir au cours du temps, en dépit des dérives auxquelles il va être inévitablement soumis.

DÉMARCHE

Ce document d'information propose des recommandations pour améliorer la mise en œuvre d'une DAI et notamment optimiser le paramétrage pour rendre le système plus fiable. Divisé en sept parties, il définit les événements à prendre en compte, les fonctionnalités demandées et les performances attendues.

Dans un premier temps, il présente les exigences de la réglementation en tunnel. Dans un second temps, les types d'incidents que l'on peut détecter et la manière de les gérer sont définis. La troisième partie aborde le fonctionnement de la DAI par analyse d'images. La quatrième partie est consacrée à la définition et au calcul des indicateurs de performances d'une DAI. Une cinquième partie porte sur la définition des modes de fonctionnement. Une sixième partie traite des opérations préalables à la réception et de la vérification de service régulier. La dernière partie est consacrée aux questions de maintenance préventive et maintenance curative pour pérenniser les performances nominales.

Ce document est l'aboutissement d'un travail d'échanges et d'enquêtes auprès des exploitants et des opérateurs (dans le cadre notamment des formations des opérateurs dispensées par le CETU), des fabricants, des bureaux d'études et des installateurs. Les exploitants de la DIR Centre-Est (PC Osiris), DIR Massif Central (PC Clermont l'Hérault), AREA (PC CESAR) et DIR Île-de-France (PCTT Nanterre), le bureau d'études EGIS TUNNEL et les fabricants de système de DAI CITILOG et FLIR (anciennement TRAFICON) se sont plus particulièrement impliqués.

RÈGLEMENTATION

1.1 VIDÉO-SURVEILLANCE DES ESPACES PUBLICS

L'utilisation de la vidéo-surveillance est régie par l'article 10 de la loi n°95-73 du 21 janvier 1995 modifiée, et par son décret d'application n°96-926 du 17 octobre 1996 modifié. Les conditions d'application de ces textes sont explicitées par les circulaires : INTD9600124C du 22 octobre 1996, INTD0600096C du 26 octobre 2006 et INTK0930018J du 2 février 2009.

La loi ne se prononce pas sur la technologie utilisée mais définit seulement les principales modalités de fonctionnement des systèmes et fixe des normes techniques (par arrêté du 3 août

2007 – annexes techniques publiées au JO du 25 août 2007) qui portent, d'une part sur les caméras et sur les systèmes de transmission et de stockage, d'autre part sur l'interopérabilité des systèmes de stockage et d'exportation des données vers les forces de police et de gendarmerie.

Pour la réalisation, la modification ou le renouvellement d'un système de vidéo-surveillance, une demande d'autorisation (formulaire CERFA n°13806*01) doit être rédigée.

1.2 DÉTECTION AUTOMATIQUE D'INCIDENTS (DAI)

Dans le cas où une surveillance humaine est assurée, l'instruction technique (IT) relative aux dispositions de sécurité dans les nouveaux tunnels du réseau routier national, figurant en annexe 2 de la circulaire 2000-63 du 25 août 2000, demande que soit installé un système de vidéo-surveillance ainsi qu'un système de DAI. En effet, le paragraphe 3.9 de l'IT précise que : *« Un réseau de surveillance par télévision couvrant la totalité de l'intérieur du tunnel et ses abords immédiats ainsi qu'un système de détection automatique d'incidents sont obligatoires lorsqu'une surveillance humaine permanente ou non, est assurée (degrés D3 ou D4 de permanence et surveillance...). En cas d'alarme susceptible d'être la conséquence d'un incident ou accident, les images télévisées montrant la zone d'où provient l'alarme doivent être enregistrées automatiquement de façon à permettre l'analyse ultérieure de l'incident ou de l'accident éventuel. Il s'agit d'une prescription minimale : un système comportant un enregistrement systématique de toutes les images et leur conservation pendant quelques minutes en temps normal et pendant une durée indéfinie en cas d'alarme offre bien sûr de meilleures possibilités d'analyse ultérieure... ».*

L'IT ne précise pas le type d'événement (fumée, véhicule arrêté, contre sens, objet, piéton...) que doit détecter le système de DAI.

Le thème de la surveillance est également abordé dans l'article 2 alinéa m de l'arrêté du 8 novembre 2006 modifié relatif aux exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels de

plus de 500 mètres du réseau transeuropéen. Dans ce texte, pris en application de l'article R 118-4-5 du code de la voirie routière, pour tous les tunnels neufs ou en service entrant dans le champ d'application de la directive européenne 2004/54/CE du 29 avril 2004, et dont la liste figure à l'article R 118-4-1 du code précité, il est ainsi prévu que :

- « des systèmes de vidéosurveillance et un système capable de détecter automatiquement les incidents de la circulation et les incendies sont installés dans tous les tunnels équipés d'un PCC ;
- des systèmes de détection automatique des incendies sont installés dans tous les tunnels ne disposant pas d'un PCC, lorsque la mise en œuvre de la ventilation mécanique pour maîtriser les fumées est différente de la mise en œuvre automatique de la ventilation pour la maîtrise des polluants. »

En pratique, le second cas de figure est généralement traité par la mise en place de systèmes de détection incendie par échauffement thermique, tandis que le premier cas relève clairement de la DAI. Soulignons aussi que les exigences issues de la directive européenne concernent aussi bien les tunnels existants que les tunnels neufs.

INCIDENTS À DÉTECTER

2.1 DÉFINITION D'UN INCIDENT

Comme évoqué dans l'introduction, le terme incident caractérise tout fait dû à une cause aléatoire, et susceptible de dégrader le niveau de sécurité offert à l'utilisateur. L'incident peut provenir d'une défaillance technique dans l'ouvrage, ou d'une perturbation dans l'écoulement normal du trafic. Dans cette dernière hypothèse, l'événement précurseur peut aussi bien diminuer la capacité de l'ouvrage, que porter atteinte plus directement au niveau de sécurité offert à l'utilisateur.

La détection d'un incident peut être soit directe soit indirecte. Dans le premier cas, l'incident lui-même est détecté. Dans le second cas, ce sont les conséquences de l'incident sur la circulation qui sont détectées. Ces conséquences peuvent aller du simple ralentissement¹ à la constitution d'un bouchon².

2.2 CLASSIFICATION ET CHOIX DES INCIDENTS À DÉTECTER

Les incidents qui peuvent survenir dans un tunnel sont très nombreux, mais comme il a été dit précédemment, la réglementation ne précise ni le type, ni le nombre d'événements qu'il convient de détecter.

Face à cette absence d'exigence, dans une démarche de recherche de la sécurité maximale, chaque exploitant va naturellement souhaiter pouvoir détecter le maximum d'incidents. Mais force est de constater que si les capacités de détection d'une DAI sont très importantes, plus le nombre d'événements à détecter sera important, plus le système sera difficile à paramétrer et ses performances susceptibles d'être dégradées. Dans certains cas, souvent liés à une maintenance préventive inexistante ou insuffisante, la dégradation est telle qu'elle peut conduire les opérateurs à être submergés par des fausses alarmes, avec le risque d'un discrédit du système de DAI. Il convient donc de détecter uniquement les événements qui présentent un intérêt réel pour l'exploitation.

Pour aider à définir les événements qu'il convient de détecter, une liste des événements les plus courants a été établie. Dans un second temps, cette liste a été hiérarchisée en trois niveaux : du niveau 1 (estimé le plus prioritaire) au niveau 3 (détection intéressante mais pas primordiale). Bien évidemment, ces différents niveaux peuvent être modulés en fonction du type d'ouvrage, du type d'exploitation envisagé et du service attendu.

Le tableau 1 ci-contre présente cette hiérarchisation des événements les plus courants (leur description détaillée est donnée en annexe A).

Niveau de l'événement	Événement
1	Véhicule arrêté
	Apparition de fumées
2	Qualification du trafic
	Véhicule en contre-sens
	Piétons
3	Objet
	Véhicule lent

Tableau 1 : Événements classés par niveau de priorité.

1. Diminution locale de la vitesse moyenne du flux de véhicules.

2. Accumulation, sur une ou plusieurs files et sur une distance d'au moins 500 m, de véhicules progressant à allure très lente et par bonds.

Ainsi, selon le type d'ouvrage et son contexte, il est possible de retenir une ou plusieurs fonctionnalités de chaque niveau. En effet, tous les types de détection sont totalement indépendants les uns des autres.

Lorsque plusieurs niveaux sont retenus, la conception du système de DAI devra permettre un fonctionnement à la fois évolutif et réversible :

- évolutif dans la mesure où le passage du niveau 1 au niveau 2 ne sera mis en œuvre que si les incidents de niveau 1 sont détectés avec les performances attendues ; même chose pour le passage du niveau 2 au niveau 3 où le passage au niveau 3 sera effectué seulement si les incidents de niveaux 1 et 2 sont détectés avec les performances attendues ;
- réversible, car le système doit permettre de revenir sur un niveau inférieur si les performances atteintes lors de l'élargissement du champ des détections ne sont pas satisfaisantes.

Il faut indiquer qu'en termes de taux de détection, les exigences sont plus sévères pour les incidents de niveau 1 que pour ceux des niveaux 2 et 3 : cela doit contribuer à avoir une DAI très fiable sur les incidents de premier niveau.

Enfin, après quelques mois d'utilisation de sa DAI, l'exploitant aura acquis suffisamment d'expérience pour apprécier la pertinence des différents événements qui auront été retenus lors de la conception du système. Il pourra alors parfois être amené à ne plus vouloir en détecter certains. La configuration de la DAI devra donc également permettre de supprimer la détection de ces événements.



Événement véhicule en contre-sens.



Événement véhicule arrêté.



Événement piétons.



Événement apparition de fumées.

Exemples d'événements de niveaux 1 et 2.

FONCTIONNEMENT

3.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une DAI par analyse d'images est basée, en fonction de l'événement à détecter, sur plusieurs types d'algorithmes : «background extraction ou foreground/background algorithm», «tripwire» et «tracking», certaines fonctions de détection pouvant associer plusieurs types d'algorithmes.

La méthode « background extraction » consiste à mémoriser comme référence la partie figée de la scène (background) et analyser les changements dans l'image qui pourraient être interprétés comme une alarme.

La méthode « tripwire » consiste à définir un zonage précis dans l'image, chacune des zones étant limitée par des lignes transversales et longitudinales. La mesure de la vitesse de la

variation de luminosité sur les lignes est alors interprétée comme le passage d'un véhicule. Cette mesure permet de calculer une vitesse moyenne et de déterminer un sens de circulation.

La méthode « tracking » repose sur la reconnaissance de forme et de suivi d'objets. L'analyse de la taille de l'objet, de son sens de déplacement ainsi que de sa vitesse, permet de différencier les éléments présents sur l'image.

Des algorithmes secondaires sont également mis en œuvre afin de gérer les perturbations décrites au paragraphe 3.4.

3.2 DISPOSITION DES CAMÉRAS

3.2.1 Transformation globale

La précision de l'image, c'est-à-dire le rapport pixels³ par mètre, est très dépendante des paramètres extrinsèques et intrinsèques du système optique.

Les paramètres extrinsèques représentent la position de la caméra dans le tunnel (hauteur, inclinaison...) et ils sont indépendants de la caméra utilisée. Les paramètres intrinsèques regroupent les paramètres propres au capteur utilisé par la caméra (taille, résolution du capteur...).

L'action de transformation globale consiste en une projection perspective qui transforme un point de l'espace à trois dimensions, en un point de l'image à deux dimensions. Cette projection est très dépendante de la focale utilisée.

Les événements à détecter ne s'analysent donc pas sur un volume⁴ mais sur une surface de projection.

3.2.2 Couverture et implantation

Les contraintes de la transformation globale sont à prendre en compte pour réaliser la couverture DAI souhaitée dans le tunnel. En effet, selon la position de la caméra ainsi que la focale utilisée (généralement 8 mm et 16 mm), une caméra peut couvrir une plus ou moins grande partie du tunnel en ligne droite (allant de 60 à 100 mètres).

Une étude préalable d'implantation des caméras est indispensable afin de s'assurer de la couverture souhaitée. On remarque que la mise au point d'un système de DAI conduit souvent à augmenter le nombre de caméras par rapport à celui requis pour les seuls besoins de la vidéo-surveillance. Bien évidemment, plus l'ouvrage présentera une géométrie compliquée, plus le positionnement des caméras sera complexe et plus leur nombre augmentera.

Généralement, une première approximation est réalisée en considérant que chaque caméra dédiée à la DAI permet une distance de détection d'environ 20 fois sa hauteur d'implantation pour la détection d'un véhicule arrêté (sauf pour les caméras d'extrémités tunnel qui utilisent une focale spécifique) et 10 fois sa hauteur d'implantation pour les détections d'objets et de piétons dans le respect des distances maximales mentionnées plus haut.

3. Plus petite partie d'une image discrétisée.

4. L'objet d'un volume de 0,5m³ environ et décrit au § 2.2 représente seulement une référence.

Comme il a été expliqué en page précédente, la couverture vidéo d'une caméra dépend beaucoup de ses caractéristiques de transformation globale. Dans les tunnels, l'inclinaison des caméras permet d'augmenter la zone couverte mais avec l'inconvénient que plus la zone étudiée de la couverture s'éloigne de la caméra, plus le rapport pixels / mètre diminue.

L'image obtenue par la caméra est généralement divisée en trois parties dans le sens de la hauteur (voir figure 1 ci-dessous) :

- la première moitié de l'image, avec la meilleure précision, représente le début de champ,
- les deux tiers de la deuxième moitié, de résolution moyenne, représentent le milieu de champ,
- le tiers restant de la deuxième moitié, de basse résolution, représente la fin de champ. Dans cette partie, le système de DAI peut générer des non détections du fait de la mauvaise représentation d'un objet.

Par exemple, une voiture est moins bien représentée en haut de l'image qu'en partie basse. **On veillera donc à ce que la fin de champ d'une caméra soit couvert par le début de champ de la caméra suivante.** Ce découpage peut varier suivant la focale choisie.



Exemple de caméra installée en tunnel.

3.3 NOTION DE MASQUE

Quel que soit le principe de fonctionnement retenu, l'image issue d'une caméra est décomposée en plusieurs zones d'analyse.

Chaque zone d'analyse est appelée masque. La création de plusieurs masques sur une seule image a pour but de définir des détections propres à chaque zone.

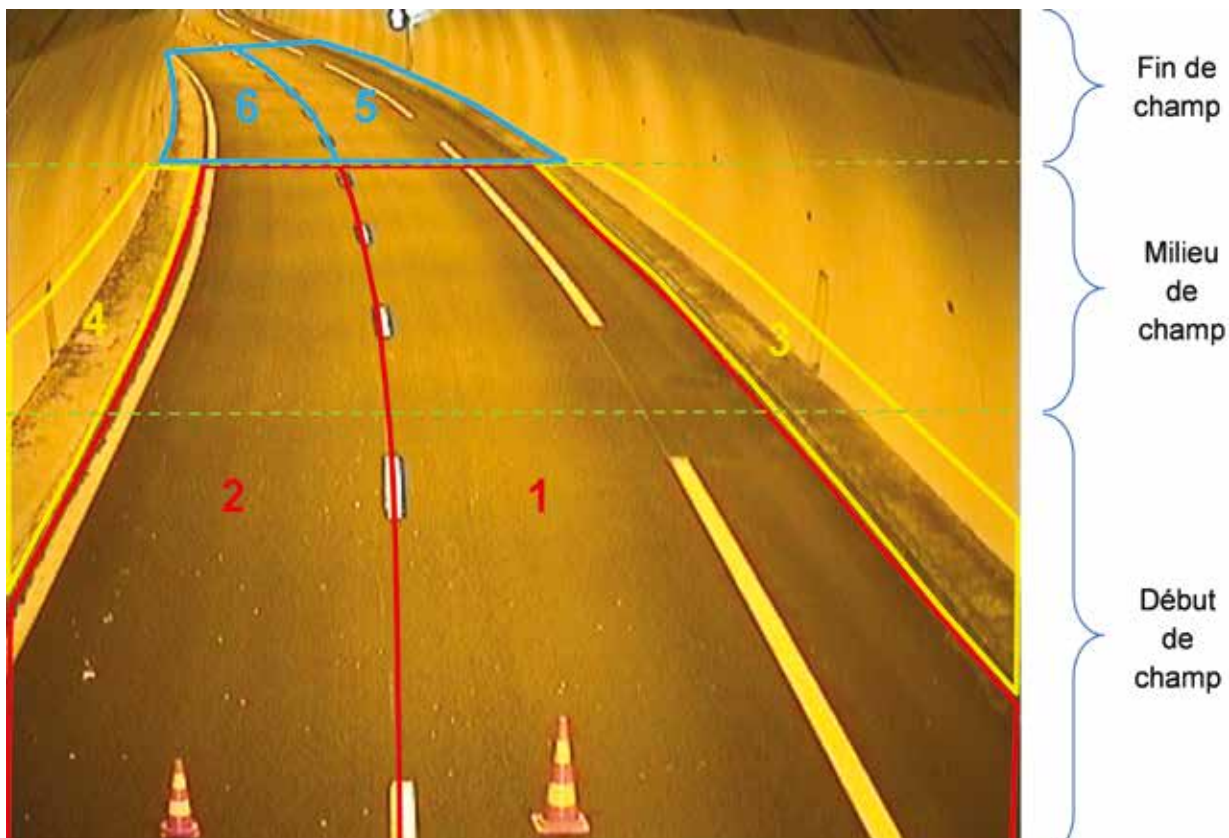


Figure 1 : Exemple de représentation des masques et des différents champs (Tunnel du Pas de l'Escalette).

Les masques 1 et 2 correspondent aux voies de circulation. Il peut y avoir autant de masques que de voies. Dans l'exemple de la figure 1, le masque 1 correspond à la voie lente et le 2 à la voie rapide. Dans ces zones, on cherchera à détecter des incidents relatifs aux caractéristiques propres à la circulation comme :

- véhicule arrêté,
- véhicule en contre-sens,
- qualification du trafic,
- éventuellement objet et piéton ; il faut savoir que la détection piéton sur les voies circulées peut être génératrice de fausses alarmes récurrentes en fonction du matériel installé.

Les masques 3 et 4 correspondent aux trottoirs, où généralement on cherchera à détecter la présence de piétons et éventuellement d'objets.

Enfin, les masques 5 et 6 correspondent à la zone la plus éloignée de la caméra. Comme il a été expliqué dans le paragraphe précédent, un objet aura donc une taille en nombre de pixels très petite. L'analyse d'une vitesse moyenne devient délicate dans cette zone, et on se limitera à une détection de véhicule arrêté.

La détection d'apparition de fumées est indépendante des masques et est réalisée sur la totalité de l'image.

Enfin, s'il peut apparaître tentant d'augmenter le nombre de masques pour leur affecter à chacun des fonctionnalités ciblées, il faut savoir que **plus on augmente ce nombre, plus le système d'analyse devient complexe et induit soit une perte de détection, soit une augmentation du nombre de fausses alarmes.**

3.4 PERTURBATIONS

Du fait que l'on utilise des systèmes par capteur optique, l'image acquise peut être perturbée et introduire là aussi des risques de fausses alarmes ou de non détections. Les perturbations les plus souvent rencontrées sont :

- le « blooming » ou effet de halo : cette aberration est due à l'éblouissement des cellules du capteur optique en cas de forte luminosité. Un point lumineux apparaîtra plus grand sur l'image de la caméra qu'il n'est en réalité. En tunnel, cette perturbation se manifeste en particulier lorsqu'une source de lumière claire (les phares d'une voiture par exemple) surgit soudainement sur un fond foncé. Ceci peut être évité par le choix d'une caméra non sujette au « blooming » ;
- le « smearing » ou « blooming vertical » : cette perturbation induit une bande verticale de largeur variable, apparaissant généralement de couleur blanche ou rouge sur une image. Ce phénomène est dû à une source lumineuse trop importante conjuguée à la technologie du capteur utilisé, cette perturbation n'étant en effet perceptible qu'avec l'utilisation d'un capteur CCD (Charge-Coupled Device) et non avec un capteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semi-conductor). En tunnel, ce phénomène se manifeste lorsque des phares se reflètent sur la chaussée mouillée ou sur la vitre des caissons de protection des caméras. Il peut être évité par le choix d'une caméra non sujette au « smearing » ;
- l'occultation optique : en tunnel, ce phénomène se produit lorsqu'un véhicule en cache partiellement ou totalement un autre. Le positionnement de la caméra peut amplifier ce phénomène comme c'est le cas par exemple avec des caméras murales installées sur un piédroit d'un tunnel bidirectionnel. Certains algorithmes permettent de gérer partiellement ou totalement ces occultations. Ce problème peut être largement évité par une étude rigoureuse d'implantation ;

- les intempéries : le ruissellement des eaux pluviales ou le brouillard peuvent se prolonger en tête de tunnel et biaiser les fonctions d'analyse. Toutefois, ce phénomène peut aujourd'hui être compensé par l'utilisation de caméras thermiques ;

- les niveaux d'éclairage : des variations rapides des niveaux d'éclairage conjuguées avec une sensibilité particulière de la caméra peuvent là aussi fausser l'analyse, notamment :
 - en situation de pénétration du soleil dans les zones d'entrée du tunnel,
 - lors des changements de régime de l'éclairage de renforcement ou de base,
 - en situation d'éclairage non homogène créant des zones distinctement visibles, alternativement sombres et claires,
 - en conditions permanentes d'éclairage trop faible ; un éclairage suffisant est atteint lorsque le contraste entre un objet à détecter et son environnement est satisfaisant c'est-à-dire lorsque la déviation standard de niveau de gris est supérieure à 20 entre l'objet et le fond.

La détection doit se faire efficacement quelles que soient les conditions d'éclairage. Le système de DAI doit être capable de recevoir l'information des changements de régime de l'éclairage par la Gestion Technique Centralisée (GTC) pour s'adapter en temps réel à ces nouvelles conditions sans dégrader les performances.

Les nouvelles générations de caméras permettent de s'affranchir efficacement de certaines de ces perturbations.

4.1 PRÉAMBULE

Avant de présenter les indicateurs permettant d'évaluer les performances du système, nous allons préciser plusieurs notions utiles.

On parlera de **vraie alarme (VA)** lorsque l'analyseur envoie un message d'alarme et que l'observateur humain, après consultation de la séquence vidéo, valide le fait que l'incident détecté a effectivement eu lieu.

On parlera de **fausse alarme (FA)** lorsque l'analyseur envoie un message d'alarme mais que l'observateur humain, après consultation de la séquence vidéo, ne constate pas d'incident correspondant à l'alarme.

On parlera de **non détection (ND)** lorsque l'analyseur n'envoie pas de message d'alarme alors qu'un incident a eu lieu.

La validation des détections en tant que vraies ou fausses alarmes sera appréciée par un œil humain, à savoir celui du maître d'œuvre ou de l'entrepreneur en phase de tests et celui de l'opérateur en phase d'exploitation. Cette validation, appliquée à un échantillon statistique d'événements et de détections, permet d'obtenir les performances principales du système.

On note que l'évaluation précise des performances du système ne peut se faire que si l'ouvrage est déjà ouvert au trafic.

4.2 INDICATEURS

4.2.1 Définitions

Les indicateurs permettant de définir les performances d'un système DAI sont au nombre de quatre :

- le **taux de détection (TD)** qui permet de mesurer la sensibilité du système, il est égal à :

$$TD = \frac{VA}{VA + ND}$$

- le **taux de fausses alarmes (TFA)** qui permet de mesurer la probabilité qu'une alarme soit fausse, il est égal à :

$$TFA = \frac{FA}{FA + VA}$$

À noter que ce taux est dépendant du nombre d'incidents pour lesquels une alarme remonte (FA+VA), et ne reflète donc pas les performances du système de façon absolue.

- la **fréquence de fausses alarmes (FFA)** qui représente le nombre de fausses alarmes rapporté à la durée de l'échantillon en jours et au nombre de caméras. Il mesure la gêne apportée par les fausses alarmes pour l'opérateur. Cet indicateur est plus fiable pour caractériser les performances.
- le **délai de détection (DD)** définie comme le laps de temps qui s'écoule entre la survenue de l'incident et sa détection par le système DAI.

4.2.2 Incident détectable, fausse alarme et alarme parasite

Ces trois notions sont très importantes et il convient de les préciser.

La notion **d'incident détectable** par le système correspond à la somme des vraies alarmes (**VA**) et des non détections (**ND**), c'est-à-dire à l'ensemble des événements que le système DAI, s'il a été parfaitement programmé et fonctionne à 100 % de ses capacités, doit être capable de détecter. C'est aussi l'enveloppe de ce que l'exploitant souhaite voir détecté et qu'il a traduit dans les exigences du cahier des charges pour l'élaboration de l'algorithme.

Au sens de cette définition, tout événement n'est pas un incident détectable; ainsi l'exploitant a pu souhaiter que l'algorithme du système DAI inhibe toute détection d'un incident survenant sur la même caméra dans les 2 minutes suivant une première détection, faisant de cet incident un incident non détectable.

Rappelons que la notion de fausse alarme (FA) correspond aux événements remontés par le système alors qu'aucun incident réel n'est survenu. Ces fausses alarmes peuvent être dues aux limites des algorithmes ou à une mauvaise mise en œuvre du système (mauvais réglages des masques, positionnement incorrect d'une ou plusieurs caméras...).

La notion d'**alarme parasite** correspond à des événements réels (au sens où elle répond aux définitions des événements à détecter) mais sans intérêt pour l'opérateur (arrêts successifs de véhicules dans une congestion déjà détectée, arrêt de véhicule de service dans une zone banalisée...). On ne parle alors pas de fausses alarmes. Une catégorie particulière pourra être créée pour les distinguer des autres événements.

Les notions d'incidents détectables, de fausses alarmes et d'alarmes parasites peuvent être différentes suivant l'interprétation restrictive ou non de l'exploitant et des choix qu'il a pu opérer pour le développement de l'outil de détection. La perception des performances d'un système de DAI peuvent aussi être différentes suivant la personne testant le système.

Il peut arriver enfin que le système de DAI fasse une erreur de typage d'alarme, c'est-à-dire signale une alarme de type véhicule arrêté alors qu'il s'agit d'une présence d'objet par exemple. Ce phénomène peut être expliqué par l'environnement spécifique, par la taille ou la trajectoire de l'objet, etc. Un typage erroné n'est pas une fausse alarme ni une alarme parasite, et il pourra raisonnablement être comptabilisé en vraie alarme.

4.2.3 Taux de détection et fréquence de fausses alarmes

Les indicateurs de taux de détection et de fréquence de fausses alarmes ne sont pas indépendants. Ainsi, nous avons déjà souligné que si on privilégie le taux de détection ou une détection rapide, cela se traduit par une plus grande fréquence de fausses alarmes. La calibration du système DAI est donc une étape importante qui vise à trouver le meilleur compromis entre le minimum de cas de non détection, le minimum de fausses alarmes et un délai de détection approprié. Ce réglage doit être très minutieux.

La figure 2 ci-dessous représente le taux de détection (TD) en fonction de la fréquence de fausses alarmes (FFA). On voit que les taux de détection et de fréquence de fausses alarmes croissent dans le même sens.

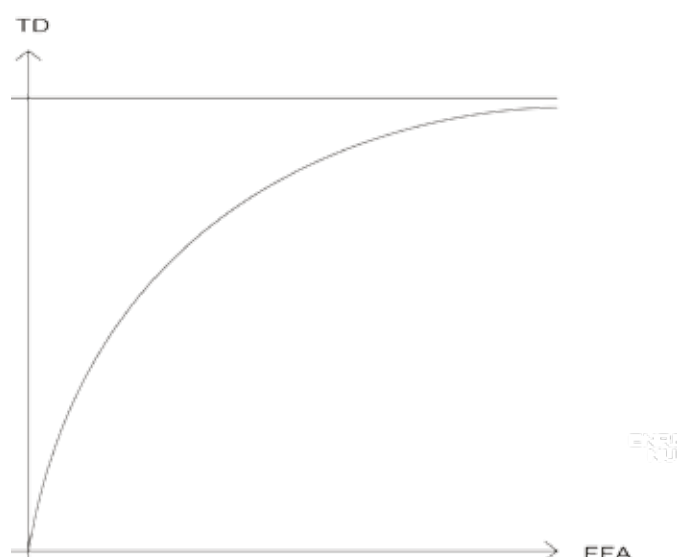


Figure 2 : Évolution du taux de détection en fonction de la fréquence de fausses alarmes.

4.3 FACTEURS INFLUANT SUR LES PERFORMANCES

Le réglage minutieux du système a déjà été identifié comme un facteur essentiel dans les performances de l'installation. Plus globalement ces facteurs sont :

1. **La conception du système de DAI au niveau matériel et logiciel** : moyens de mesure et conception / paramétrage et réglage de l'algorithme.
2. **Les caractéristiques particulières du site** : certaines conditions de site peuvent rapidement compliquer la mise au point du système et engendrer un écart important entre les performances annoncées par le fournisseur et celles mesurées sur le terrain à l'issue du calibrage.
3. **La maintenance préventive et curative** : traitement des dérèglages, des baisses de performances des composants, de l'absence de mise à jour du calibrage...

4. **L'ergonomie du logiciel et son appropriation par les opérateurs** : si les utilisateurs ne sont pas convaincus de l'appui apporté par le système et ne sont pas intéressés à s'impliquer dans sa mise au point, il ne remplira pas son office.
5. **Le nombre de caméras** : le nombre de fausses alarmes augmente proportionnellement avec le nombre de caméras qui est lui-même dépendant de la longueur de l'ouvrage (une caméra tous les 80 mètres environ en section courante rectiligne).

Le tableau 2 présente à titre indicatif des performances d'un système DAI en conditions nominales d'éclairage et de qualité de signal vidéo (selon les données fabricants).

Événement	Taux de détection (%)	Fréquence de fausses alarmes (FA/caméra/jour)	Délai de détection (en secondes)
Véhicule arrêté	>98	0,05	<12
Congestion	>97	0,025	<10 à 20
Véhicule en contre-sens	>90	0,05	<2 à 5
Apparition de fumées	>95	0,05	<10
Piéton*	>90	0,05	<10
Objet	>80	0,05	<20
Véhicule lent	>90	0,15	<5 à 10

* Détection sur trottoir et BAU et sur voies circulées suivant les matériels. À noter que certains matériels ne permettent pas la détection piéton sur les voies circulées.

Tableau 2 : Exemple de performances d'un système DAI (données fabricants) par type d'événement à détecter pour un tube monodirectionnel.

Les valeurs ci-dessus servent souvent de référence pour fixer les exigences du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) d'une installation de DAI. Toutefois, selon les spécificités de l'ouvrage (caractéristiques géométriques, trafic...), elles

pourront être modifiées et adaptées si besoin. En effet, il n'est pas réaliste d'obtenir les mêmes performances sur des ouvrages de natures assez différentes.

4.4 LIEN ENTRE NOMBRE DE FONCTIONS ET FIABILITÉ DU SYSTÈME

Chaque type d'événement à détecter est associé à une fréquence de fausses alarmes, comme cela est illustré dans le tableau 2. Augmenter le nombre d'événements à détecter revient donc à augmenter l'apparition de fausses alarmes et ainsi diminuer la fiabilité du système de DAI.

Il est donc très important de limiter le type des événements à détecter au strict nécessaire de façon à rendre le système le plus fiable possible, tant pour limiter la fréquence de fausses alarmes que pour réduire les cas de non détection des événements.

MODES DE FONCTIONNEMENT

5.1 FONCTIONNEMENT NORMAL

En cours de fonctionnement normal, les moniteurs situés au PCC et affectés à la DAI peuvent être soit en mode veille, soit en mode affichage.

5.2 CAS DE DÉTECTION D'INCIDENT

En règle générale, dès l'apparition d'un incident, les séquences détaillées dans le tableau 3 ci-dessous vont s'enchaîner :

1	Le serveur DAI communique à la supervision et au serveur vidéo le numéro de la caméra ayant détecté l'incident ainsi que le type d'événement.
2	Le serveur DAI active l'enregistrement numérique et la compression des images généralement de 20 secondes avant et 10 secondes après la détection de l'incident (valeurs paramétrables); ces images pourront être visualisées à tout moment à partir de la supervision.
3	Une alarme sonore est déclenchée au PCC
4	La vue d'exploitation adéquate est activée sur les écrans du superviseur. Cette vue représente schématiquement l'ouvrage sous forme tubulaire. La ou les zones sur lesquelles a été détecté l'incident sont colorées en rouge avec un pictogramme représentant la nature des incidents.
5	Le serveur vidéo affichera automatiquement les images de la caméra ayant détecté l'incident sur les moniteurs dédiés à la DAI.

Tableau 3 : Séquences enclenchées par le système DAI lors de la détection d'un incident.

Ce séquençage met bien en évidence l'intérêt du système qui est de détecter très rapidement l'incident, de lancer l'alarme, puis de mettre à disposition de l'opérateur tous les éléments lui permettant de réagir efficacement.

Après cela, s'il s'avère que l'incident détecté est bénin ou qu'il s'agit d'une fausse alarme, l'opérateur pourra acquitter le défaut depuis le superviseur, ce qui ramènera le moniteur en état de veille, sauf bien sûr si d'autres alarmes sont encore présentes. En cas de détections d'incidents simultanés ou successifs, une « pile » sera créée et sera consultable sur l'écran de la supervision où les incidents pourront être sélectionnés indépendamment les uns des autres pour être affichés sur les moniteurs dédiés à la DAI.

Des dispositifs de filtrage sur une durée paramétrable sont introduits dans les algorithmes afin d'éviter que le même incident ne donne lieu à une succession de détections, que ce soit sur la même caméra, ou sur des caméras successives. La notion de caméras voisines s'étend jusqu'à deux caméras en amont et deux en aval de la caméra courante. Elle peut aussi concerner les caméras proches mais pas dans le même alignement.

Comme indiqué en séquence 2 du tableau ci-avant, l'opérateur pourra visualiser quand il le souhaite, et depuis le superviseur, les enregistrements correspondant aux détections. Il pourra alors soit acquitter un ou plusieurs incidents et ainsi libérer la pile de ces événements, soit déclencher le scénario correspondant. Le superviseur permettra l'inhibition de chaque type de détection par caméra, par voie et par tube. Ces inhibitions sont possibles de manière individuelle ou par groupe.

Les temps de détection, les seuils de détection de fumée, les temps d'affichage des alarmes de détection et la réapparition de l'événement non acquitté sont paramétrables par l'exploitant depuis le serveur DAI.

5.3 FONCTIONS D'AIDE À LA MAINTENANCE

Dans un système DAI, l'analyseur peut aussi faire son autodiagnostic en interrogeant les constituants de l'installation sur leurs états techniques et fonctionnels. L'analyseur DAI pourra ainsi remonter les alarmes suivantes :

- **Bougé caméra** : l'analyseur repérera si un déplacement de la caméra est susceptible de fausser l'analyse au point de ne plus être en mesure de détecter les incidents. Le but est de déclencher une intervention afin de repositionner la caméra ou de modifier en conséquence le paramétrage de l'analyseur. Les modifications d'orientation devront être détectées lorsqu'elles ne permettent plus de tenir les performances exigées.

À noter que cette alarme ne devra cependant pas être remontée en cas de faibles vibrations occasionnées par exemple par le passage de véhicules à proximité de la caméra, dès lors que celles-ci ne remettent pas en cause les paramètres de l'analyse.

- **Dégradation de la qualité de l'image** : l'analyseur devra remonter une alarme à la supervision lorsque l'image n'a plus la qualité suffisante pour assurer la détection d'incident et tenir les performances exigées. Il s'agit par exemple de détecter l'encrassement de la vitre d'un caisson ou le desserrement d'un objectif.
- **Perte ou dégradation du signal vidéo** : l'analyseur signalera à la supervision l'absence ou la dégradation du signal vidéo en entrée.

- **Défauts fonctionnels et techniques des analyseurs** : une remontée des défauts de l'analyseur devra être envoyée à la supervision. Il s'agira généralement de défauts techniques (température du processeur trop élevée ou tout défaut entraînant une perte de disponibilité fonctionnelle) ou de défauts fonctionnels (dysfonctionnement d'une fonction d'analyse, de la fonction d'inhibition...).

Certains exploitants, pour planifier les interventions, ont demandé que soit fournie une valeur journalière de niveau de contraste représentative de la qualité de l'image. Cet indicateur peut permettre de planifier le nettoyage des caméras en fonction d'un encrassement réel et prolongé de la caméra.



Exemple d'encrassement de la vitre du caisson d'une caméra.

5.4 FONCTIONS D'ADMINISTRATION

Dans ses fonctions d'administrateur, l'exploitant a la possibilité de régler :

- la définition des zones à surveiller,
- le paramétrage 1^{er} niveau des événements à détecter :
 - seuils (temps) de détection,
 - seuils de vitesse (ralentissement, etc),
- l'activation / l'inhibition des détections par type d'événement, par voie et / ou par tube : cette fonction est très utile quand le tunnel n'est pas exploité de façon normale (travaux...).
- la définition et la gestion des utilisateurs du système,
- l'archivage des données,
- le retour au paramétrage de référence,
- la personnalisation de premier niveau des IHM DAI.

Dans ses fonctions d'administrateur, le fabricant a la possibilité de régler :

- le paramétrage 2^e niveau des événements à détecter (paramétrage fin),
- la définition de tous les équipements qui contribuent à la DAI,
- la personnalisation de second niveau des IHM DAI,
- les filtres et scénarii d'inhibition applicables par l'exploitant,
- les relations entre les caméras (chevauchement de zones, suivi d'un incident...),
- les groupes de caméras pour l'application des filtres et scénarii,
- les paramètres généraux de l'outil d'exploitation.

RECEPTION ET QUALIFICATION

6.1 PRÉAMBULE

La validation des performances d'un système DAI se fait en deux temps : la réception puis la qualification du système en conditions réelles.

La première étape se réalise pendant les opérations préalables à la réception (OPR). Pour la DAI, elle consiste à effectuer la vérification des fonctionnalités du système sous fermeture de l'ouvrage. Lorsque le maître d'ouvrage reconnaît la conformité des prestations aux stipulations du marché, la réception est alors prononcée. La réception transfère la propriété de l'ouvrage au maître d'ouvrage. Elle marque en principe l'origine des délais de garantie.

La seconde étape se réalise pendant la phase de vérification de service régulier (VSR). Elle consiste à vérifier les performances du système en conditions réelles, c'est-à-dire sous circulation. Pendant cette phase, le fabricant du système DAI, en lien avec l'entreprise titulaire du marché, peut effectuer tous les réglages nécessaires. Elle conduit alors à la qualification du système.

Ces deux étapes sont détaillées ci-après.

6.2 OPÉRATIONS PRÉALABLES À LA RÉCEPTION (OPR) ET RÉCEPTION

Cette étape consiste à tester de manière approfondie les matériels et les fonctions de maintenance puis les fonctions de détection telles que décrites dans le CCTP. Ces vérifications se font alors que le tunnel est encore fermé à la circulation.

Pendant cette phase, il est recommandé, qu'en plus du maître d'œuvre et de l'entreprise titulaire du marché, le fabricant du système DAI soit également présent.

6.2.1 Tests des matériels et des fonctions support

Tout d'abord, il s'agit de valider le bon fonctionnement de chaque équipement constituant la DAI. En effet, la suite des tests ne pourrait se poursuivre en l'absence de cette première vérification.

Une proposition de tests des matériels et des fonctions de maintenance est détaillée en annexe B. Elle correspond à une installation donnée et, comme les systèmes DAI ne sont jamais tout à fait identiques, elle devra nécessairement être adaptée au cas par cas.

Afin de bien comprendre les tests qui vont suivre, la figure 3 ci-contre présente à titre indicatif un schéma d'architecture vidéo/DAI.

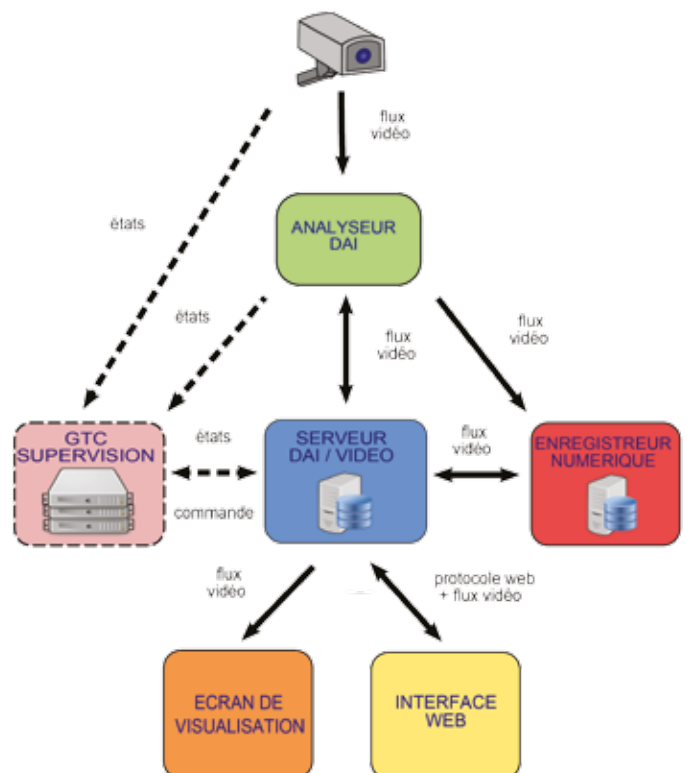


Figure 3 : Exemple de schéma d'une architecture vidéo/DAI

MATÉRIELS :

Une DAI comprend plusieurs caméras, un serveur DAI et un ou plusieurs analyseurs suivant le nombre de flux à analyser. L'opération de vérification consiste à s'assurer que :

- les équipements fonctionnent tous et sont alimentés en électricité,
- le serveur DAI est opérationnel et démarre normalement,
- le ou les analyseurs sont opérationnels et démarrent normalement,
- les caméras sont opérationnelles et sont reliées aux analyseurs,
- les réseaux de transport et de communication sont opérationnels (E/R optiques, fibres optiques...).

FONCTIONS SUPPORT :

Le système doit assurer un certain nombre de fonctions support élémentaires pour lesquelles on vérifiera que :

- les fonctions de DAI installées sur le ou les analyseurs sont en accord avec les exigences du CCTP,
- le serveur DAI et le ou les analyseurs communiquent bien entre eux,
- le serveur DAI pilote l'initialisation et la configuration des analyseurs,
- le serveur DAI pilote la supervision maintenance des équipements DAI,
- le serveur DAI pilote l'enregistrement, la gestion, la consultation et l'archivage de séquences vidéos numériques,
- les alarmes techniques de DAI du système de DAI sont bien transmises au PCC.

A ce stade, il conviendra également de tester que l'interface de supervision DAI est installée sur les équipements suivants :

- le serveur configuré pour gérer la DAI et les échanges avec le PCC,
- le client DAI installé au PCC pour une gestion globale de la DAI.

6.2.2 Tests des fonctions de détection

Dès lors que les tests des matériels et des fonctions support sont concluants, on procède alors au test des fonctions de détection stipulés dans le CCTP.

Soulignons que cette phase est essentielle et ne doit pas être sous-estimée. Elle peut nécessiter des moyens notables en personnel et en matériel : par exemple un véhicule léger de couleur claire, un véhicule léger de couleur sombre, un générateur de fumée avec son alimentation,... Elle demande également du temps, car en principe les essais doivent être réalisés pour chaque type d'événement, pour chaque caméra et pour chacune des voies. De plus, pour calculer des taux de détection, il est nécessaire de faire plusieurs fois les mêmes essais.

L'annexe C présente des propositions de tests des fonctions de détection par événements suivant la classification établie au chapitre 2.2.

RÉALISATION DES TESTS

Pour chaque test, toutes les fonctions de détection seront inhibées, hormis bien sûr la fonction de détection testée. De plus, aucun réglage ou paramétrage ne devra être effectué durant cette phase.

Pour chaque événement à détecter, les performances sont calculées en établissant la moyenne des résultats obtenus pour l'ensemble des caméras ; elles sont ensuite comparées aux performances définies dans le CCTP.

Un nombre minimum d'essais doit être défini. Il dépend des caractéristiques du tunnel : nombre de voies, géométrie du tunnel, nombre de caméras, fonctions retenues...

En section courante, les tests pourront être réalisés de jour ou de nuit.

Aux entrées et sorties d'ouvrage, il pourra être intéressant de privilégier les tests de jour pour se rapprocher le plus possible des conditions réelles d'utilisation. Il faut avoir conscience que l'analyse d'image peut être influencée par les conditions météorologiques à l'extérieur de l'ouvrage : chaussée humide en tête, lumière du soleil pénétrante...

En outre, on vérifiera que le changement d'un régime d'éclairage ne provoque pas de fausses alarmes.

SYNTHÈSE

Lorsque toutes les fonctions sont testées, on calcule les performances réelles obtenues par le système. Pour cela, on regroupe tous les résultats obtenus individuellement sur chaque caméra pour chaque type de détection afin d'en déduire les taux de détection. Les temps de détection correspondront à une moyenne des essais réussis pour chaque type de détection.

Si les performances mesurées sont supérieures ou égales à celles définies au niveau du CCTP, la réception est validée. Dans le cas contraire, des réserves sont émises sur les types de détection et / ou caméras faisant défaut. Ces éventuelles erreurs devront être corrigées afin de lever les réserves. À noter que dès qu'une modification est réalisée sur une caméra, tous les tests qui lui sont affectés devront être refaits.

Il conviendra de bien définir au niveau du CCTP, les tests qui devront être effectués en phase de réception.

L'annexe D présente un exemple de fiche test pour un arrêt véhicule et la fiche de synthèse des performances obtenues.

6.3 QUALIFICATION

La qualification du système s'appuie pour une large part sur la vérification de service régulier (VSR), cette dernière visant à constater que les prestations fournies sont capables d'assurer un service régulier dans les conditions normales d'exploitation prévues dans le CCTP.

La durée de la VSR, qui dépend de la complexité du système de DAI, est en général de trois mois ; si des problèmes sont rencontrés lors de cette phase, elle peut être étendue par exemple jusqu'à six mois.

Durant cette période, des recueils de données sont réalisés et, après analyse, permettent d'obtenir une vérité issue de l'observation de terrain. Ces constats de terrain permettent d'établir de façon sûre les vraies alarmes, les fausses alarmes et les non détections, donc de définir le taux de détection, le taux et la fréquence de fausses alarmes. Les performances ainsi évaluées conduisent à cibler les éventuelles erreurs ou défaillances du système et d'y remédier.

Dans l'absolu, cette méthode impose que chaque flux de caméra soit visualisé pendant une durée suffisante par au minimum deux personnes, et cela afin de repérer les incidents que le système n'aurait pas détectés. Mais cela n'est souvent pas réaliste en pratique et afin d'alléger cette méthode, le fabricant du système de DAI effectue un audit de performances avec une surveillance du système par l'exploitant et par le fabricant du système DAI sur quelques semaines seulement. L'exploitant renseigne alors un document avec les anomalies constatées : non détections et fausses alarmes par caméra.

Chaque incident génère une séquence sous forme de fichier vidéo comprenant des images avant et après l'incident. Ces séquences sont souvent suffisantes pour comprendre les anomalies du type fausse alarme.

Pour les non détections, c'est plus compliqué car celles-ci ne génèrent pas de séquence, aucune alarme n'étant remontée. Elles peuvent alors être soit visualisées directement par les opérateurs, soit obtenues par détection à l'aide d'un système autre que la DAI (fumée non détectée par la DAI mais par un opacimètre par exemple). Cependant, les systèmes de DAI permettent de réaliser des enregistrements à la demande, ou d'extraire des enregistrements à partir de fonctions d'enregistrement continu sur un ou plusieurs jours. Les opérateurs ou administrateurs système de l'exploitant peuvent alors documenter toutes les non-détections.

À partir de cet audit, les configurations inadaptées du système de DAI sont modifiées. Ceci peut être effectué soit localement à partir des fonctions d'administration du système, soit à distance par l'intermédiaire d'un réseau virtuel privé (Virtual Private Network VPN).

GARANTIE ET MAINTENANCE

Pour s'assurer du bon fonctionnement du système au cours du temps, il est nécessaire de prévoir une période de garantie assurée par le fabricant qui concerne les équipements, ainsi

que les maintenances préventive et curative qui influent sur les performances.

7.1 GARANTIE

La garantie constructeur est en général de 2 ans, et concerne toute la partie matérielle de l'installation notamment :

- les caméras intérieures et extérieures et leurs objectifs,
- les supports intérieurs et / ou extérieurs,
- les caissons et les tourelles,
- le ou les analyseurs,
- le ou les serveurs,
- les écrans de visualisation dédiés,
- les caissons optiques et / ou cuivre entre les différents constituants,
- les équipements d'interface entre la DAI et la GTC.

Cette garantie peut être complétée par une garantie logicielle de 3 à 6 mois notamment pour ce qui concerne :

- les algorithmes des différentes fonctions de détection,
- la définition / modification des masques,
- les outils de paramétrage,
- les outils de visualisation,
- les fonctions d'archivage.

Durant cette période, et comme indiqué dans le paragraphe suivant, il est recommandé à l'exploitant de faire au moins un audit de performances par semestre afin de vérifier que le système de DAI fonctionne comme prévu.

7.2 MAINTENANCE PRÉVENTIVE

L'objectif principal de la maintenance préventive est de garantir la pérennité du système en évitant une dérive des performances au cours du temps. Pour cela, il faut appliquer des mesures programmées de vérification ou de remplacement des éléments matériels ou logiciels de la solution du système de DAI.

En plus des fonctions d'aide à la maintenance permettant de tester les états techniques des équipements concourant au système de DAI, il peut être nécessaire :

- de vérifier les indicateurs du tableau de bord (qui récapitule les défauts cités au chapitre 5.3 Fonctions d'aide à la maintenance) du système de DAI au minimum une fois par mois,
- d'examiner et vérifier les caméras et équipements de prise de vue identifiés comme sources de perte de signal vidéo : encrassement de la vitre du caisson, desserrement de l'objectif, perte du chauffage du caisson...
- de bien penser à nettoyer les vitres des caissons, source importante de baisse des performances,
- de réaliser les opérations de purge de données (si non automatiques),
- de vérifier qu'aucun des éléments de la chaîne de détection n'est défaillant,
- de vérifier la cohérence entre les masques de détection et la prise de vue,
- de réaliser un audit de performances, au moins une fois par semestre (une fois par trimestre étant la fréquence recommandée),
- de tester par sondage, ou mieux par caméra, au moins une fois par an, le fonctionnement du système comme décrit en annexe C,
- de mettre à jour des versions des logiciels de DAI (firmware).

7.3 MAINTENANCE CURATIVE

La maintenance curative intervient lorsqu'un équipement devient inopinément défectueux. Afin de pouvoir pallier rapidement ce problème, l'exploitant devra prévoir un lot de pièces de rechange. Ce lot pourra par exemple comprendre :

- deux caméras et deux objectifs pour caméra fixe,
- un caisson pour caméra intérieure,
- un support pour caisson pour caméra intérieure,
- un coffret caméra,
- un lot de petit matériel de connexion,
- un analyseur,
- un serveur.

La maintenance curative doit être effectuée par un personnel qualifié et formé (de l'exploitant ou d'un mainteneur extérieur). Pour éviter l'indisponibilité du système, la redondance du serveur de DAI est fortement recommandée. Elle permet de maintenir la disponibilité du système en cas de panne d'un des deux serveurs.

En cas de vidéo analogique, la redondance totale des analyseurs est possible et recommandée.

En cas de vidéo IP, la redondance active des analyseurs est possible et fortement recommandée. Moins exhaustive que la redondance totale, un analyseur supplémentaire en standby permet de réduire l'indisponibilité d'un analyseur défectueux à quelques minutes.

CONCLUSION

La DAI est un élément important dans le système de sécurité des tunnels surveillés, et c'est souvent même le principal maillon de déclenchement de toutes les procédures prédéfinies. Pour disposer d'un système fiable de DAI en tunnel routier, il est nécessaire de réfléchir et de porter une attention très soutenue à toutes les étapes du projet : conception, réalisation, réception, maintenance.

En phase de conception, on portera une attention à la couverture vidéo de l'ouvrage, au choix des caméras, à l'éclairage et à l'environnement permettant d'obtenir les performances optimales de la vidéo et de la DAI.

Ensuite, il s'agit de définir les événements à détecter avec le souci de réduire au maximum leur nombre et de ne choisir que ceux qui sont véritablement pertinents dans le contexte du tunnel étudié.

Il s'agit ensuite de caler soigneusement le système pour trouver le meilleur compromis entre le minimum de non détections, le moins de fausses alarmes et un délai de détection approprié.

Il faut également préciser avec soin, en lien avec le fabricant du système, les recommandations d'installation, de réception et de maintenance de ces équipements. En effet, les modalités de mise au point, de garantie des performances, et les opérations de maintenance préventive sont tout à fait cruciales pour le maintien du niveau de performance du système de DAI.

La DAI pourra ainsi rester ou devenir l'outil robuste et incontournable d'accompagnement des exploitants de tunnels routiers pour la détection des événements précurseurs des incidents.

GLOSSAIRE

- BAU** : Bande d'Arrêt d'Urgence
- CCTP** : Cahier des Clauses Techniques Particulières
- DAI** : Détection Automatique d'Incidents
- DIR** : Direction Interdépartementale des Routes
- IT** : Instruction Technique
- OPR** : Opérations Préalables à la Réception
- PCC** : Poste de Contrôle Commande
- VSR** : Vérification de Service Régulier
- E/R** : Émetteur/Récepteur

ANNEXES

A CLASSIFICATION DES INCIDENTS À DÉTECTER

ÉVÉNEMENTS DE NIVEAU 1 :

- **Véhicule arrêté** : le système de DAI devra détecter tout véhicule immobile pendant une durée paramétrable, généralement proche de 10 secondes, et cela en tout point de la chaussée ; cette durée permet de s'affranchir d'un arrêt fugitif (lorsqu'un véhicule s'arrête puis redémarre aussitôt).

Cette détection est systématiquement demandée dès lors qu'un système de DAI est installé.

- **Apparition de fumées** : le système de DAI devra détecter une fumée d'opacité supérieure à 12 m^{-1} persistant pendant une durée paramétrable, généralement proche de 10 secondes⁵ ; cette détection devra pouvoir être faite en tout point de l'ouvrage⁶.

ÉVÉNEMENTS DE NIVEAU 2 :

- **Qualification du trafic** : le système de DAI devra classer le trafic suivant deux types : trafic fluide et trafic congestionné. Cette classification est basée sur le taux d'occupation et la vitesse moyenne mesurée sur un tronçon pendant un temps donné, et cela généralement sur l'ensemble des voies de circulation. Il peut, suivant les ouvrages, être intéressant d'avoir un seuil de détection de vitesse différent suivant les tronçons dans l'ouvrage. Cela peut permettre, par exemple, de prendre en compte la phase d'accélération de poids lourds en entrée de tunnel après un péage.

Cette détection peut être assurée en lieu et place de la DAI par un ensemble de capteurs du type boucle électromagnétique ; cette dernière méthode peut être pertinente pour des tunnels urbains à fort trafic présentant des risques de congestion récurrente.

- **Véhicule en contre-sens** : le système de DAI devra détecter un véhicule circulant à plus de 5 km/h, en contre-sens, en tout point de la chaussée.

Cette détection peut être pertinente pour les tunnels unidirectionnels de longueur supérieure à 1 km. En effet, pour des tunnels plus courts, le véhicule sera déjà sorti ou aura causé un autre incident avant qu'une mesure ait pu être

prise par le PCC. Elle peut être également pertinente si les entrées/sorties de la voie ne se situent pas à proximité immédiate du tunnel. Suivant les caractéristiques du tunnel et des points d'échange dans ou hors tunnel, la position souhaitable de la détection pourra être différente.

- **Piéton** : le système de DAI devra détecter un piéton se déplaçant sur tout ou partie de la chaussée et les trottoirs (cf réserves § 3.3 Notion de masque).

Lors d'un accident, les usagers sortent de leur véhicule et restent généralement sur la chaussée à proximité de leur véhicule. Cependant, il a été constaté plusieurs cas de personnes se déplaçant sur la chaussée (souvent en état d'ivresse) sur plusieurs centaines de mètres, ou encore des véhicules faisant du dépôt minute dans les tunnels.

Il semble donc indispensable qu'en cas d'activation de la détection de piéton, celle-ci couvre également les voies circulées. Rappelons que, selon le matériel utilisé, la détection piéton sur les voies circulées peut être génératrice de fausses alarmes récurrentes.

ÉVÉNEMENTS DE NIVEAU 3 :

- **Objet** : la détection d'objets en tunnel n'est pertinente que si le trafic est faible. En effet, pour des tunnels à trafic élevé, il est fort probable que l'objet aura causé un autre incident ou aura été déplacé par un véhicule avant qu'une mesure ait pu être prise par le PCC. En outre, il n'est en général détecté qu'en début et milieu de champ (cf § 3.3). Enfin, les retours d'expérience auprès d'exploitants démontrent que ce type de détection peut être génératrice de fausses alarmes récurrentes. Il est donc conseillé de ne la prévoir que dans des cas bien particuliers et après une analyse fine des objectifs visés.

- **Véhicule lent** : avec cette fonction, le système de DAI devra détecter comme lent tout véhicule roulant à une vitesse paramétrable pendant une période d'une durée également paramétrable, en tout point de la chaussée. De plus, un second seuil est généralement utilisé de façon à ne valider l'alarme que si la vitesse du véhicule est significativement inférieure à la vitesse moyenne du trafic. Cette détection est en général peu pertinente et peu demandée.

5. Notons que l'IT fixe au § 3.2.1 le seuil d'opacité à 9 m^{-1} pour les situations de congestions hors incendie (pollution liée à la congestion par exemple). Le seuil de 12 m^{-1} ne peut pas être atteint dans un cas de simple congestion.

6. Au niveau de l'analyse d'image, cela correspond à détecter une baisse significative du niveau de contraste (supérieur à 30%) sur une partie significative de l'image (supérieur à 20%).

Phases ou défauts	Vérfications et tests
Visualisation et mode état normal	Vérifier que toutes les caméras supervisées par le serveur sont accessibles via l'interface. Pour une caméra donnée avec une vidéo sans alarme de trafic, l'image doit être rafraichie périodiquement et aucune alarme technique ne doit s'afficher.
Défaut vidéo	Vérifier que la perte d'un signal vidéo en entrée d'un analyseur est bien signalée. À l'état normal, un signal vidéo alimente une entrée vidéo d'un analyseur : <ul style="list-style-type: none"> • déconnecter le signal vidéo, • vérifier qu'une alarme correspondant à « défaut vidéo » apparaît sur l'interface et que ce défaut est transmis au PCC.
Défaut de communication entre le serveur DAI et un analyseur	Vérifier que la perte de communication entre un analyseur et le serveur DAI est bien signalée. À l'état normal, le réseau local DAI – analyseur(s) et serveur DAI fonctionne : <ul style="list-style-type: none"> • déconnecter la liaison entre un analyseur et le serveur DAI, • vérifier qu'une alarme correspondant à « défaut de communication » apparaît sur l'interface et que ce défaut est transmis au PCC.
Défaut de communication entre le serveur DAI et le PCC	Vérifier que la perte de communication entre le serveur DAI et le PCC est bien signalée. À l'état normal le serveur DAI fonctionne : <ul style="list-style-type: none"> • déconnecter le serveur DAI du réseau, • vérifier qu'une alarme correspondant à « perte de communication » est transmise au PCC.
Défaut de « bougé caméra »	Vérifier, lorsqu'une caméra a bougé, que ce défaut est signalé. Dans ce cas, les masques ne correspondent plus aux zones d'analyse initiales. Ce défaut biaise les méthodes d'analyse et peut entraîner la génération de fausses alarmes ou de non détections. À l'état normal, les masques DAI sont correctement positionnés sur la caméra : <ul style="list-style-type: none"> • bouger une caméra, • vérifier qu'une alarme correspondant à « bougé caméra » apparaît sur l'interface et que ce défaut est transmis au PCC.

Comme précisé au chapitre 6.2.2, il faut souligner que cette phase de tests est essentielle et ne doit pas être sous-estimée en termes de moyens et de temps.

Comme également précisé au chapitre 6.2.2, lors des tests d'une fonction donnée, toutes les autres fonctions de détection devront être inhibées, hormis bien sûr la fonction de détection testée.

Certains tests peuvent concerner simultanément plusieurs caméras. Par exemple, dans le cas de test de la fonction arrêt véhicule en début de champ de la caméra n, le véhicule arrêté peut être détecté également par la caméra n-1 en fin de champ.

Pendant les tests, le régime d'éclairage du tunnel pourra être le régime le plus faible de l'éclairage de section courante.

À l'issue des tests, une synthèse par caméra tous tests confondus peut être utile pour diagnostiquer d'éventuels dysfonctionnements provenant d'une même caméra.

Par ailleurs, il n'est pas possible, durant cette phase de réception avant mise en service, de tester la fonction qualification du trafic en l'absence d'un flot de véhicules. Elle devra être testée en conditions réelles de trafic en phase de VSR.

C1 : VÉHICULE ARRÊTÉ

Les feux de croisement et de position des véhicules utilisés devront être allumés et il faudra s'assurer que leurs feux de stop fonctionnent. Cet essai peut également permettre de valider la bonne couverture caméra vidéo / DAI du tunnel ainsi que les recouvrements éventuels entre caméras.

Moyens requis	Un véhicule léger de couleur blanche. Un véhicule léger de couleur sombre.
Procédure	Un véhicule circule dans le tunnel avec arrêt aléatoire sur chaque caméra. Le test est fait pour chaque véhicule, pour chacune des voies de circulation et BAU éventuelle. Pour chaque test, le véhicule doit rester dans le champ de vision d'une caméra pendant une durée de 2 fois le temps de détection défini dans le CCTP. Le test est réussi si l'événement est détecté en une durée inférieure ou égale au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Égal au nombre de caméras multiplié par le nombre de voies (BAU comprise) et le nombre de véhicules. Il est préférable de refaire trois fois les tests pour avoir un échantillon représentatif.
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

C2 : APPARITION DE FUMÉES

Deux situations sont à considérer : fumées froides et fumées tièdes.

Les fumées froides sont les plus faciles à réaliser. Elles permettent par exemple de simuler une casse de moteur turbo de PL. Même si elles présentent une opacité importante, elles ne permettent cependant pas de simuler tous les comportements de fumées d'incendie.

Les fumées tièdes sont représentatives des fumées réellement émises lors de certains incendies en tunnel (écoulement, opacité). Par contre, leur mise en œuvre nécessite des moyens plus lourds et des précautions particulières.

C2-1 : APPARITION DE FUMÉES – FUMÉES FROIDES

Moyens requis	Un générateur de fumée (de type machine à fumée professionnelle avec fonction génération de fumée continue commandée on/off). Un groupe électrogène ou l'utilisation des prises pompiers présentes dans les niches de sécurité. Un véhicule porteur.
Procédure	Activer le générateur de fumée puis faire circuler le véhicule porteur sur toute la longueur d'une voie dans le sens de la circulation avec une allure adaptée à la diffusion de la fumée (10 à 20 km/h environ). À noter que, suivant le tunnel et les conditions de courant d'air naturel ou forcé, la propagation des fumées pourra se faire sans déplacer le véhicule porteur. Arrêter la ventilation pendant le test DAI ; la ventilation sera activée sur demande pour évacuer les fumées en fin d'essai. Le test est positif si l'événement est détecté en une durée inférieure au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Égal au nombre de caméras multiplié par le nombre de voies (BAU comprise). Il est préférable de refaire trois fois les scénarios pour avoir un échantillon représentatif.
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

C2-2 : APPARITION DE FUMÉES – FUMÉES TIÈDES

Ce test pourra se faire à l'occasion de test de validation du fonctionnement de la ventilation.

Moyens requis	Un bac à combustible permettant d'obtenir un départ de fumée assez rapide et suffisamment dense. La préparation de ce bac exige des compétences spécifiques. Ce test est mis en œuvre par des professionnels formés et équipés.
Procédure	Arrêter la ventilation pendant le test. Procéder à la mise à feu et ne pas stationner à proximité du nuage de fumée à cause de la nature irritante de la fumée émise. Évacuer les fumées par la ventilation à la fin de chaque essai. Positionner le bac à combustible sur la chaussée dans le champ de vision d'une caméra. Le test est réussi si l'événement est détecté en une durée inférieure au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Du fait de la mise en œuvre complexe, le nombre de test sera défini au cas par cas. On peut prendre comme base un essai tous les 300 mètres.
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

C3 : VÉHICULE EN CONTRE-SENS

Rappel : les feux de croisement et de position des véhicules utilisés devront être allumés.

Moyens requis	Un véhicule léger de couleur blanche. Un véhicule léger de couleur sombre.
Procédure	Le véhicule roule à contresens, à une vitesse comprise entre 30 km/h et la vitesse maximale autorisée dans le tunnel et sur toute la longueur d'une voie. Le test est fait pour chaque véhicule et pour chacune des voies de circulation. Le test est réussi si l'événement est détecté en une durée inférieure ou égale au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Égal au nombre de caméras multiplié par le nombre de voies et par le nombre de véhicules. Il est préférable de refaire trois fois les tests pour avoir un échantillon représentatif.
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

C4 : PIÉTON

Moyens requis	Un piéton.
Procédure	Le piéton marche à une vitesse inférieure à 5 km/h sur toute la longueur d'une voie dans le champ de vision d'une caméra. Le test est fait sur les voies de circulation, trottoirs et BAU éventuelle, pour chaque caméra participant à ce type de détection (cf. CCTP). Le test est réussi si l'événement est détecté en une durée inférieure ou égale au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Égal au nombre de caméras participant à la détection multiplié par le nombre de voies de circulation piéton. La BAU et les trottoirs sont à considérer comme des voies de circulation à part entière.
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

C5 : OBJET

Moyens requis	Un carton de couleur marron d'environ 0,8 x 0,8 x 0,8 m soit 0,5 m ³ .
Procédure	L'objet doit rester dans le champ de la caméra pendant une durée de 2 fois le temps de détection défini dans le CCTP. Le test est fait sur chacune des voies de circulation, pour chaque caméra participant à ce type de détection (cf. CCTP) et en milieu de champ de préférence. En effet, en début de champ le test doit rester optionnel car plus complexe, et en fin de champ il existe un problème de résolution cf § 3.3. Le test est réussi si l'événement est détecté en une durée inférieure ou égale au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Égal au nombre de caméras multiplié par le nombre de voies (BAU comprise).
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

C6 : VÉHICULE LENT

Rappel : les feux de croisement et de position des véhicules utilisés devront être allumés.

Moyens requis	Un véhicule léger de couleur blanche. Un véhicule léger de couleur sombre.
Procédure	Le véhicule roule à une vitesse paramétrable en lien avec les dispositions retenues pour l'événement, sur toute la longueur d'une voie. Le test est fait sur chacune des voies de circulation et pour chaque véhicule. Le test est réussi si l'événement est détecté en une durée inférieure ou égale au temps de détection défini dans le CCTP.
Nombre d'essais conseillés	Égal au nombre de caméras multiplié par le nombre de voies et par le nombre de véhicules utilisés. Il est préférable de refaire trois fois les tests pour avoir un échantillon représentatif.
Résultat	Calcul du taux de détection à la fin des différents tests.

Exemple type de fiche test :

Résultats des détections : Tunnel « les Flots Bleus »											
Événement : Arrêt											
Type d'essais : Arrêt		Date :	Heure début :		Heure fin :						
Caméra	Test (BAU OK = a ou BAU nonOK = b ou VC OK = c ou VC nonOK =d)										Commentaires
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Caméras	a	c	a	c	c	c	a	a			
C10	a	c	c	c	a	a					
C20	a	c	c	a	a						
C30	a	c	a	c	d	c	a	a			
C40	a	c	a	c	c	c	a	a			
C50	a	c	a	c	c	c	a	a			
C60	a	c	a	c	a	c	c	c			
C70	a	c	a	c	a	c	a	c			
C80	a	c	c	a							
C90	c	c	c	c	c						
C100	c	c	c	c							
C110	c	c	c	c							
C120	d	c	c	c							
C130	c	c	c	c							
C140	c	c	c	c							
C150	c	c	c	c							
C160	c	c	c	c							
C170	c	c									
C180	a	c	a	c	a	c					
C190	a	c									
C200	a	c	c								
C210	a	c	a	c	a	c					
C220	a	c	a	c	a	c	c				
C230	a	c	a	c	a	c					
C240	a	c	a	c	a	c	c				
C250	a	c	a	c	a	c					
C260	a	c	c								
C270	a	c	a	c							
C280	c	a	c	a	c	a	c				
C290	a	c	a	c	a	c					
C300	a	c	a	c	c	c					
C310	a	c	a	c	a	c	c				
C320	a	c	a	c	a	c					
C330	a	c	a	c	a	c	c				
C340	a	c	a	c	a	c					
C350	a	c	c								

Nombre de détection BAU OK	78
Nombre de détection BAU NOK	0
Nombre de détection VC OK	122
Nombre de détection VC NOK	2
Nombre d'essais total réalisé	202
Taux de détection BAU	100,00 %
Taux de détection VC	98,39 %

Exemple de fiche récapitulative définissant les performances obtenues :

		Arrêt : récapitulatif général, toutes voies confondues			
		Pourcentage demandé	Pourcentage de réussite	Temps de détection demandé en secondes	Temps moyen de détection en secondes
Nombre de tests	68	92,00 %	100,00 %	10	7,23
Résultat des tests	68				
		Piéton : récapitulatif général, tous trottoirs confondus			
		Pourcentage demandé	Pourcentage de réussite	Temps de détection demandé en secondes	Temps moyen de détection en secondes
Nombre de tests	59	75,00 %	93,22 %	15	6,4
Résultat des tests	55				
		Véhicule lent : récapitulatif général			
		Pourcentage demandé	Pourcentage de réussite	Temps de détection demandé en secondes	Temps moyen de détection en secondes
Nombre de tests	21	92,00 %	71,43 %	12	5,83
Résultat des tests	15				
		Objet : récapitulatif général, toutes voies confondues			
		Pourcentage demandé	Pourcentage de réussite	Temps de détection demandé en secondes	Temps moyen de détection en secondes
Nombre de tests	33	80,00 %	84,85 %	15	6,46
Résultat des tests	28				

Auteurs : CETU avec la collaboration de Lionel Aubert (CETU), Emmanuel Berne (DIR CE), Jérémie Bossu (CETU) , Jean-Michel Charvier (EGIS TUNNEL), Florent Dallo (DiRIF), Jérôme Douret (CITIOLOG), Jean-Claude Gachet (AREA), Thierry Manuguerra (CETU), Jean-Claude Martin (CETU), Olivier Martinetto (EGIS TUNNEL), Mario Pinto (FLIR), Marc Tesson (CETU), Eric Toffin (CITIOLOG) et Eric Tueleau (DIR MC).

Contact : eeg.cetu@developpement-durable.gouv.fr



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

