

Panneaux à messages variables, éclairage et autres outils de gestion du trafic*

Pedro GARCÍA RELAÑO
Ingénieur
Département Trafic
SAINCO

RÉSUMÉ

Cet article énonce dans leurs grandes lignes les aspects fondamentaux d'une bonne gestion du trafic au point de vue de la sécurité routière en Espagne. En effet, depuis une dizaine d'années, l'Espagne développe et met en pratique un ensemble de mesures de gestion, de régulation et de contrôle du trafic sur les accès des grandes villes et les principaux axes du pays.

Les quatre piliers de la sécurité routière, dont l'objet est de réduire les risques d'accidents ou d'en limiter au maximum les conséquences, sont la conduite automobile, la qualité et la fiabilité des véhicules automobiles, l'exécution, le contrôle et le suivi des constructions des routes et la gestion du trafic routier.

Pour la gestion du trafic routier, l'article développe les outils de contrôle du trafic et d'information aux usagers :

- matériel et logiciel installés sur le terrain et dans la salle de contrôle,
- recueil des données routières,
- signaux occultables et panneaux à messages variables,
- bornes d'appel d'urgence,
- circuit fermé de télévision,
- stations météorologiques,
- éclairage,
- conditions spécifiques aux tunnels.

MOTS CLÉS : 73-85 - Équipement - Logiciel - Panneau à message variable - Éclairage - Gestion - Trafic - Sécurité routière - Politique - Information du conducteur - Contrôle - Usager de la route - Téléphone - Urgence - Télévision - Météorologie - Tunnel.

La sécurité routière suscite un grand intérêt et est à l'origine de diverses actions, parfois sans rapport évident entre elles, mais recherchant un effet de synergie pour réduire les risques d'accidents ou en limiter au maximum les conséquences. La sécurité routière a donc donné naissance à une nouvelle culture, dont l'influence s'exerce de manière déterminante dans des domaines très divers.

La politique en matière de sécurité routière, au sens large du terme, est fondée sur quatre bases :

- > l'éducation en matière de conduite automobile ;
- > la sécurité active et passive, et l'amélioration de la qualité et de la fiabilité des véhicules automobiles ;
- > l'emploi des meilleures techniques pour la conduite du projet, l'exécution, le contrôle et le suivi de la construction des routes ;
- > l'exploitation du réseau, par une bonne gestion du trafic, un entretien régulier, une utilisation optimale de la route.

Dans cet article, on s'attachera uniquement à énoncer et à développer, dans leurs grandes lignes, les aspects fondamentaux permettant d'effectuer une bonne « gestion du trafic » du point de vue de la sécurité routière.

* Cet article a été publié en espagnol dans la revue *Carreteras* n° 86 (novembre-décembre 1996).

Introduction

La Déclaration sur la construction de grands axes de circulation internationale a été signée à Genève le 16 septembre 1955, définissant pour la première fois à l'échelle de l'Europe un réseau moderne de communications routières. Quarante ans plus tard, l'Espagne disposait d'un réseau de plus de 5 500 km de routes à grande circulation, d'autoroutes gratuites et à péage et de routes express, auxquels il faut ajouter les 100 000 km de routes appartenant aux réseaux de l'État et des provinces.

Ce réseau supporte un trafic croissant, qui crée des problèmes d'embouteillages aux abords des grandes villes : encombrements dus aux déplacements entre le domicile et le lieu de travail, et bouchons provoqués par les déplacements entre la ville et la campagne, la montagne ou la mer, en période de vacances, en fin de semaine et les jours fériés. Il devient donc nécessaire d'adapter l'équipement des routes en général, et des routes express et autoroutes en particulier, pour optimiser leur capacité et, surtout, réduire et homogénéiser les taux de risque d'accident entre sections, et sur le réseau tout entier, selon la nature de ce dernier.

Le développement des infrastructures entraîne un accroissement du trafic, puisque les usagers disposent alors d'une plus grande capacité et d'une plus grande sécurité lors de leurs déplacements. Les temps de parcours diminuent, tandis que les demandes de transport et les possibilités de profiter des loisirs augmentent. Par ailleurs, les zones rurales, d'accès difficiles auparavant, s'urbanisent, favorisant ainsi l'exode de la population du centre vers la périphérie des villes, et de nouvelles zones industrielles et touristiques se développent. Ces changements d'implantation de la population et les migrations qui en résultent mettent rapidement en évidence la carence et le manque d'homogénéité des infrastructures, dus aux contraintes physiques du réseau et aux différentes conditions orographiques et climatologiques.

Afin d'optimiser l'exploitation des routes existantes, 24 h sur 24, et construire un réseau d'information, de contrôle et d'aide aux usagers, l'Espagne a commencé à développer et à mettre en pratique, depuis une dizaine d'années, un ensemble de mesures de gestion, de régulation et de contrôle du trafic sur les accès des grandes villes et sur les principaux axes du pays.

Configuration du système de gestion du trafic

Un système général de gestion du trafic sur les grands axes de circulation ou les accès aux grandes villes comporte :

- Un sous-système d'information sur le trafic.

- Un système de contrôle du trafic.
- Des outils de gestion générale et de gestion des informations.

Bien coordonnés, ces systèmes permettent de concrétiser l'un des quatre piliers de la politique en matière de sécurité routière, la « gestion du trafic ».

Information sur le trafic

Introduction

Il est communément admis qu'un bon niveau d'information permet d'accroître notablement la vitesse, la sécurité et le confort des déplacements routiers. Pour cela, l'usager doit connaître à l'avance :

- > l'état des bouchons qu'il va rencontrer sur l'itinéraire qu'il a emprunté, ou sur celui qu'il a prévu d'emprunter ;
- > l'état des routes ;
- > les conditions météorologiques ;
- > les informations concernant les itinéraires bis et leur état.

Il existe un grand nombre de théories sur la manière de diffuser ces informations. Tous les moyens sont valables du moment qu'ils ne favorisent pas la transmission d'informations contradictoires ou inutiles qui pourraient réduire l'attention que l'usager doit porter aux informations importantes.

La transmission des informations par des moyens audiovisuels, par radio, ou par panneaux à messages variables et signaux occultables, ne doit pas distraire l'attention de l'usager.

Celui-ci peut recevoir les informations à tout moment, avant et pendant le voyage.

• Dans le premier cas, les informations doivent être générales, porter sur des itinéraires globaux et inclure, si possible, une estimation des temps de parcours correspondants. Ces informations doivent être disponibles dans le plus grand nombre d'endroits possible. Les grands réseaux de communication radio et télévision sont donc les moyens de diffusion préférentiels.

• Pendant le voyage, l'usager peut être informé par trois moyens :

- > la radio, en particulier lorsque les systèmes RDS seront implantés à grande échelle en Espagne ;
- > les panneaux à messages variables ;
- > les systèmes sophistiqués de géopositionnement et de guidage par satellite qui nécessitent l'installation d'équipements spécifiques dans les véhicules.

Système d'information destiné aux usagers

Quand on parle d'information sur le trafic, on se réfère à la collecte, au traitement et à la gestion des informations nécessaires au contrôle du trafic. Lorsqu'on parle d'information pour les usagers, on évoque les informations que l'on décide de transmettre aux conducteurs.

Bien que la diffusion des informations représente une des actions principales prévues dans les stratégies de contrôle, elle ne peut remplacer, à elle seule, les autres moyens techniques existants de régulation du trafic (prescription d'actions déterminées visant à modifier le comportement du trafic et utilisation d'outils disponibles au sein du système de contrôle du trafic).

Le contenu du message peut avoir une valeur coercitive plus ou moins grande, mais, dans tous les cas, le message doit être accompagné d'une explication qui déclenche, chez le conducteur, un processus mental l'obligeant à suivre les instructions.

Un message du type « Accident - bouchon sur route A, empruntez route B » oblige le conducteur à réfléchir davantage qu'un message du type : « Suivre itinéraire B » et sera donc plus convaincant.

Architecture du système

L'architecture d'un système d'information des usagers repose sur trois sous-systèmes :

- un réseau local de sources d'informations sur le trafic s'appuyant sur la gendarmerie et la police de la route, la police des provinces et la police municipale ;
- un réseau de transmission des informations jusqu'aux ordinateurs du poste de contrôle où sont élaborées les informations à diffuser ;
- un réseau de diffusion par l'intermédiaire des panneaux à messages variables, des stations de radio et des chaînes de télévision.

Contrôle du trafic

Introduction

Les systèmes de contrôle du trafic développés en Espagne traitent deux types de problèmes :

- La gestion du trafic dans une zone de l'ordre de 25 à 30 km autour d'une grande ville. Ce trafic comprend :
 - le trafic induit par la ville elle-même, auquel il faut ajouter le trafic des agglomérations environnantes de plus de dix mille habitants et comprises dans la zone étudiée,
 - le trafic correspondant aux grands axes périurbains formés par les autoroutes, les routes express et les routes principales.

• La gestion du trafic interurbain correspondant aux autoroutes, aux routes express et aux routes du réseau d'intérêt général. Ce trafic comprend :

- le trafic relatif aux grands axes interurbains formés par les autoroutes, les routes express et les routes principales,
- le trafic local variable induit par les agglomérations des alentours, généralement de moins de dix mille habitants, reliées ou traversées par les grands axes interurbains.

Système de contrôle du trafic

Le contrôle du trafic inclut la collecte, le traitement et la gestion des informations nécessaires et leur traduction en actions en direction de l'utilisateur :

- contrôle d'accès à la route par l'installation de feux ;
- voies dont les sens de circulation peuvent être inversés (fig. 1) ;
- contrôle d'itinéraire, pour en optimiser l'exploitation en tenant compte du trafic et des conditions météorologiques ;
- information aux usagers au moyen de panneaux à messages variables et de signaux occultables ;
- éclairage ;
- contrôle des tunnels.

La modélisation des flux de trafic sur un réseau routier est un outil indispensable pour le contrôle et la gestion du trafic. Elle a pour objectif de permettre :

- le développement et l'évaluation des stratégies de contrôle du trafic ;
- le suivi et la prévision en temps quasi réel de l'état du trafic sur des réseaux complexes ;
- l'évaluation de l'impact de nouvelles infrastructures potentielles sur le réseau ;
- la simulation de situations de trafic critiques dues à la réduction de la capacité des routes ou à l'augmentation de la demande ;
- la détection automatique des incidents, par l'analyse automatique des variations d'un signal vidéo, ou par l'application de l'algorithme californien alimenté par d'autres sous-systèmes de détection et de contrôle.

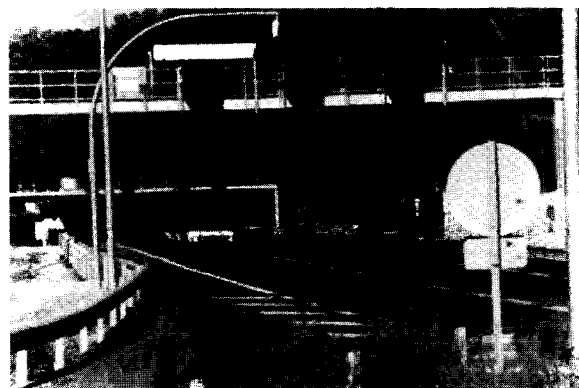


Fig. 1 - Voies dont les sens de circulation peuvent être inversés.

Architecture du système

Un système de contrôle du trafic comporte quatre sous-systèmes :

- Un réseau de recueil de données : réception des informations de base fournies par les capteurs, et comprenant les mesures du volume et de la vitesse moyenne du trafic. Ces données élémentaires sont complétées par des informations plus élaborées, générées par les systèmes de détection automatique des incidents et par les caméras vidéo.
- Un réseau de transmission de données depuis le lieu de la mesure jusqu'aux ordinateurs du poste de contrôle.
- Un système de traitement et d'actualisation permanents des informations : les données élémentaires recueillies peuvent être intégrées et combinées pour obtenir une information encore plus pertinente. La détection des incidents, la mesure de la longueur des bouchons et les prévisions réalisées par l'analyse des informations de base sont conjuguées avec l'expérience acquise grâce à un logiciel complexe installé dans le centre de contrôle.
- Un réseau de diffusion des informations par les panneaux à messages variables, les stations de radio et les chaînes de télévision.

Les outils de contrôle du trafic et d'information aux usagers

Matériel et logiciel installés sur le terrain et dans la salle de contrôle

Tous les systèmes sont centralisés et intégrés dans un seul centre de contrôle, afin que l'opérateur puisse gérer la logistique nécessaire, en se servant des informations reçues, et puisse prendre toutes les décisions appropriées afin de maintenir les routes dans les meilleures conditions de sécurité.

Matériel du poste de contrôle

Le matériel informatique nécessaire comprend (fig. 2), un ordinateur principal, équipé des périphériques suivants :

- > console de commande de l'ordinateur, et des imprimantes ;
- > moniteur couleur pour graphiques et envoi d'instructions ;
- > terminal alphanumérique pour dialoguer avec le système ;
- > terminal pour l'enregistrement chronologique des informations ;
- > imprimante pour édition de rapports.

Tous ces matériels doivent être protégés contre les coupures de courant électrique.



Fig. 2 - Salle de contrôle du trafic.

Logiciel

Le logiciel d'application utilise un système d'exploitation standard permettant le travail en équipe, mais aussi en mode interactif et en mode télétraitement. Ce système doit être multitâche et multi-utilisateur et permettre la programmation en temps réel.

L'ordinateur principal doit traiter les signaux provenant des stations gérées à distance et effectuer les calculs et opérations suivantes :

- > afficher les pages d'alertes ;
- > assurer le stockage chronologique des données ;
- > assurer le stockage historique des données ;
- > enregistrer les signaux analogiques pour le tracé des courbes ;
- > fournir les informations relatives à la maintenance des machines ;
- > calculer les valeurs maximales, minimales et moyennes ;
- > éditer des rapports ;
- > préparer et afficher des représentations graphiques.

L'ordinateur principal doit aussi contrôler les différentes parties du système de contrôle, soit de manière autonome, soit sous le contrôle de l'opérateur.

Recueil des données routières

Pour connaître l'état du trafic routier, il faut disposer d'un système de mesure du trafic, qui fournisse des données sur l'intensité, la composition (classification) et la fluidité (vitesse) du trafic, ainsi que sur la détection des bouchons, pour pouvoir décider des politiques d'exploitation les plus appropriées.

Le système de contrôle du trafic est constitué d'un ensemble de détecteurs, avec ou sans boucles électromagnétiques, installés de manière appropriée pour mesurer les différentes variables du trafic et situés à différents points de l'itinéraire.

Ces points de mesure doivent être équipés de deux boucles par voie de circulation et des détecteurs correspondants, ou de détecteurs d'infra-rouge sans boucles.

Les détecteurs de trafic transmettent leurs informations aux stations de recueil de données qui intègrent, calculent et classent les informations reçues, pour les présenter sous forme de données de trafic.

Les stations de recueil de données transmettent les données élaborées, sur commande du système de contrôle auquel elles sont reliées par les stations gérées à distance.

L'installation de deux détecteurs par voie permet à la station de recueil de données d'analyser les signaux, et d'obtenir les données suivantes :

- > sens de circulation ;
- > classification en fonction de la vitesse ;
- > classification en fonction de la longueur ;
- > distance entre véhicules ;
- > bouchons.

La station de recueil de données stocke celles-ci dans sa mémoire et les envoie sur ordre du poste de contrôle. Ce dernier reçoit périodiquement, soit de manière automatique et programmée, soit sur commande de l'opérateur, les données collectées par les stations de recueil de données, pour éditer ses rapports :

- > statistiques globales sur les véhicules : quotidiennes, hebdomadaires ou pour un intervalle horaire donné ;
- > statistiques selon le type de véhicule : quotidiennes, hebdomadaires ou pour un intervalle horaire donné ;
- > statistiques selon la vitesse : quotidiennes, hebdomadaires ou pour un intervalle horaire donné ;
- > statistiques selon les véhicules dans un intervalle court et programmé : quotidiennes, hebdomadaires ou pour un intervalle horaire donné.

Ces données statistiques sont fournies sous forme de listes ou de graphiques. L'opérateur peut, à sa demande, disposer des dernières données transmises par la station de recueil de données, afin de connaître la composition du trafic observé durant les cinq dernières minutes. Le système fournit automatiquement les données statistiques du jour précédent, à une heure programmée. Le poste de

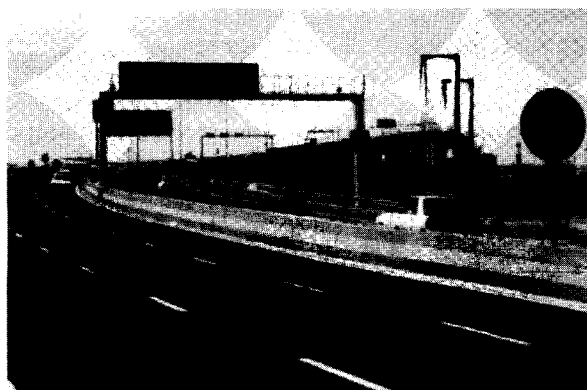


Fig. 3 - Panneaux à messages variables.

contrôle dispose d'algorithmes permettant de connaître l'état de fonctionnement des détecteurs des stations de mesure du trafic. Le type d'algorithmes utilisé doit être précisé et le fonctionnement des détecteurs doit être d'abord contrôlé sur des installations similaires déjà en service.

Signaux occultables et panneaux à messages variables

Pour gérer et contrôler le trafic, et augmenter ainsi la fluidité et la sécurité, il faut disposer d'un ensemble de panneaux informant les usagers de l'état des routes :

- > feux de contrôle d'accès, servant à réguler l'accès à la route ;
- > panneaux de limitation de vitesse, permettant de réguler la vitesse sur chaque tronçon, en fonction des conditions de circulation, et au moyen de fibres optiques ;
- > panneaux à messages variables (fig. 3) offrant des potentialités d'emploi directement proportionnelles à la qualité des informations que le système peut apporter. De fait, ils délivrent de manière immédiate les informations appropriées là où elles sont nécessaires. Sur le plan technique, les panneaux à messages variables sont au point et trouveront toujours leur utilité même si d'autres moyens devaient exister dans l'avenir.

Le dispositif de signalisation comprend donc différents types de panneaux et plusieurs stations de contrôle commandant les feux et les panneaux à messages variables qui leur sont affectés. Ces stations de contrôle sont connectées aux stations gérées à distance, pour envoyer les informations et recevoir les instructions du poste de contrôle.

Bornes d'appel d'urgence

Elles permettent d'établir un dialogue entre le poste de contrôle et l'utilisateur qui a besoin d'aide, et de mettre ce dernier en communication avec le réseau téléphonique extérieur. Dans la salle, l'opérateur prend les mesures appropriées en fonction de l'aide demandée et envoie une équipe de secours. Pour installer des bornes d'appel d'urgence (fig. 4), il faut observer, si possible, les recommandations suivantes :

- > éviter les zones proches des bretelles d'entrée et de sortie, et des voies d'accélération et de décélération ;
- > éviter les équipements techniques coïncidant avec des ouvrages de passage, inférieurs ou supérieurs ;
- > implanter la borne en aval de l'ouvrage, dans les zones proches d'un ouvrage d'art, selon le sens de circulation ;
- > éviter d'installer des bornes dans des tronçons à virages prononcés ;
- > éviter d'implanter des bornes sur de grands terre-pleins.

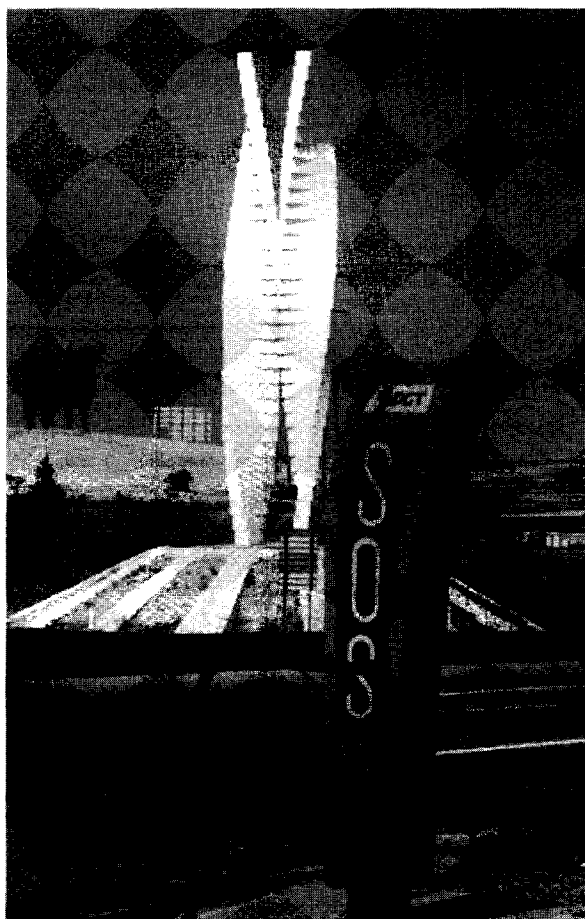


Fig. 4 - Borne d'appel d'urgence.

L'assistance et la gestion des appels effectués depuis les bornes doivent être réalisées par le poste de contrôle.

La borne est équipée d'un seul bouton servant à demander une aide. L'appel depuis la borne est immédiatement suivi d'une tonalité d'acheminement si l'appel est en cours, ou d'une tonalité d'occupation si la communication avec le poste de contrôle n'a pu être établie. Elle peut servir d'interface pour la transmission de données entre le poste de contrôle et un dispositif installé sur le terrain (panneau indicateur, station de recueil de données, station météorologique, etc.). Une personne autorisée peut également entrer en communication avec le poste de contrôle, à partir de ce terminal.

Le système de bornes d'appel d'urgence permet d'établir des communications vocales en bidirectionnel simultané, en mode mains libres, entre le central téléphonique et n'importe quelle borne du réseau, et de gérer des réseaux de bornes d'appel individuelles. Il permet également de connecter au réseau téléphonique extérieur des appels effectués depuis des bornes.

Les bornes maîtresses sont connectées à des paires câblées en étoile circulant par les gaines existantes. Le poste de contrôle du système de

bornes d'appel d'urgence doit être dimensionné de manière appropriée et équipé des dispositifs suivants :

- > un ordinateur contrôlant les autres éléments du poste de contrôle ;
- > un concentrateur de communications, chargé de gérer les réseaux de bornes d'appel d'urgence, d'envoyer les données à l'ordinateur et d'enregistrer les communications ;
- > un poste d'opérateur, permettant la conversation avec l'utilisateur de la borne ;
- > une imprimante pour l'enregistrement des alertes et des incidences sur les réseaux de bornes d'appel ;
- > un enregistreur vocal pour l'enregistrement automatique de toute communication effectuée sur le réseau.

Circuit fermé de télévision

Le système de circuit fermé de télévision permet de visualiser tout le parcours effectué par les véhicules le long du tronçon où le système est opérationnel. Il constitue l'un des principaux outils permettant de superviser et d'assurer la sécurité des installations dans tout projet de contrôle du trafic.

Configuration du système

Ce système est constitué de caméras mobiles reliées au poste de contrôle par des fibres optiques ou des câbles. Pour la transmission d'un signal de télécommande (caméras motorisées), il faut utiliser des câbles.

Le poste de contrôle doit être équipé d'un dispositif de contrôle à télécommande pour les mouvements de positionnement et le zoom des caméras. Un boîtier de commutation permet l'affectation des caméras aux moniteurs, avec dispositif d'activation par alertes. La visualisation des images s'effectue par l'intermédiaire des moniteurs.

Le système doit comporter un dispositif d'enregistrement des images, un magnétoscope avec incrustation de la date et de l'heure, et un moniteur pour la visualisation des images enregistrées.

Distribution et description du matériel

Les caméras motorisées sont installées sur des poteaux de 15 m de hauteur.

Les dispositifs de contrôle du système font partie du poste de contrôle général et sont équipés :

- > de récepteurs à fibres optiques multimodes avec bâti et source d'alimentation ;
- > de boîte de dérivation ;
- > d'un module de contrôle à télécommande des caméras motorisées ;
- > d'un boîtier de commutation vidéo avec le nombre nécessaire d'entrées vidéo ou de sorties moniteurs, et les alertes correspondantes ;

- d'un magnétoscope VHS, à plusieurs têtes de lecture, avec arrêt parfait sur image et haute qualité d'enregistrement ;
- de moniteurs monochrome ou couleur pour la visualisation ;
- d'un moniteur monochrome ou couleur pour la reproduction.

Communications

La transmission des signaux vidéo s'effectue par fibre optique multimode. La transmission des signaux vidéo des caméras au poste de contrôle se fait en mode point à point.

Caractéristiques fonctionnelles

La sensibilité des caméras doit garantir une bonne réception des images, même dans des conditions de faible luminosité et tous les objectifs doivent être équipés d'un système de fermeture automatique du diaphragme, pour éviter, autant que possible, l'éblouissement par les phares des véhicules.

L'emplacement des caméras à l'intérieur d'un tunnel doit permettre de couvrir toute la zone à contrôler entre deux caméras et pour chaque sens de circulation.

Dans le poste de contrôle, il convient d'utiliser un boîtier de commutation vidéo, qui permet l'assignation manuelle ou automatique des caméras aux moniteurs, ainsi que la programmation automatique des séquences par moniteur, selon leur ordre et leur durée.

Les alertes doivent être gérées par l'ordinateur central du système, qui est connecté en permanence au boîtier de commutation par une interface appropriée.

Au déclenchement d'une alerte, la caméra concernée affiche l'image sur le moniteur. L'ordre de priorité des types d'alertes est programmé à partir de l'ordinateur central.

Stations météorologiques

Lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, la sécurité routière peut être profondément affectée par deux facteurs négatifs :

- le manque de connaissances, en temps réel, des conditions météorologiques et de leur évolution prévisible dans l'heure suivante, par le responsable de la gestion de l'état de la route ;
- l'absence d'information ou la lenteur de transmission des informations aux usagers circulant sur la route, ou aux personnes qui s'apprêtent à prendre la route.

Présence de brouillard

Le brouillard est un phénomène facile à observer, mais dont l'intensité est très mal évaluée par

les usagers. Ceux-ci peuvent difficilement estimer la distance de freinage, qui détermine la vitesse de circulation. En conséquence, presque tous les usagers circulent à une vitesse nettement supérieure à la vitesse autorisée par la distance de freinage réelle.

En cas de brouillard, les mesures à prendre sont donc de deux types :

- réguler la vitesse en fonction de la visibilité dans la zone de brouillard ;
- informer les usagers, ayant ou n'ayant pas encore emprunté ce tronçon de route des conditions actuelles.

L'installation comprend donc :

- des dispositifs implantés sur le terrain et constitués d'un visibilimètre (fig. 5), ainsi que des panneaux de limitation de vitesse à fibres optiques, dont le pictogramme est occulté et n'est visible que lorsqu'il est activé. Ces panneaux peuvent être complétés par un ou plusieurs panneaux à messages variables installés dans la zone de brouillard et/ou en dehors et informant les usagers de l'état des routes. Ces dispositifs sont implantés le long du tronçon routier et peuvent être espacés de quelques kilomètres ;
- des dispositifs constituant le système de communication qui permet à ceux-ci installés sur le terrain de dialoguer avec la station météorologique et/ou le poste de contrôle : ligne téléphonique spécialisée, câble de bornes d'appel d'urgence, ligne en fibre optique ;

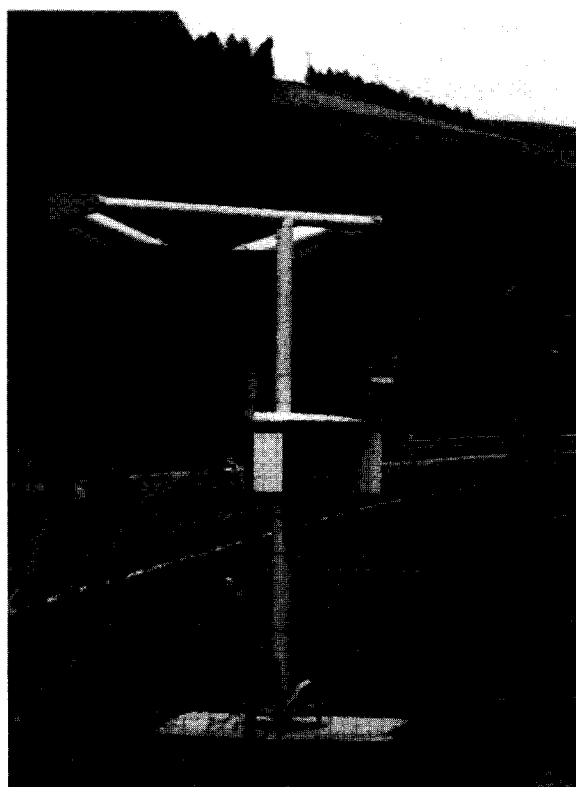


Fig. 5 - Visibilimètre.

➤ la station météorologique ou le poste de contrôle où sont implantés les dispositifs de gestion équipés du logiciel de contrôle approprié (ou bien l'opérateur prend lui-même la décision, s'il le juge nécessaire, et valide ce que le système lui propose, ou bien les interventions sont effectuées automatiquement).

Comme il s'agit d'installer un système pouvant fonctionner sur plusieurs kilomètres de route express, il convient d'effectuer les raccordements électriques nécessaires entre les différents dispositifs installés sur le terrain.

Neige ou verglas

Une station météorologique est habituellement plus importante que l'installation décrite précédemment. Sa fonction ne se limite pas à l'analyse et au contrôle des routes affectées par le brouillard. Elle prédit également la formation de verglas. Elle doit donc être associée à un centre d'intervention qui prend les mesures appropriées pour le repandage de fondants sur la chaussée. Ce type de station est équipé des dispositifs suivants :

- capteur de température et d'humidité relative de l'air ;
- détecteur de précipitations ;
- détecteur de l'état de surface de la chaussée (sèche, humide, mouillée, mouillée et salée, couverte de givre, de neige, de gel et de verglas) ;
- visibilimètre (fumée, brouillard), capteur de mesure de l'intensité et du type de précipitation (pluie, neige, neige fondue ou grêle) ;
- capteur de vitesse du vent ;
- capteur de direction du vent ;
- pluviomètre ;
- capteur de pression atmosphérique.

Pour choisir l'emplacement des stations météorologiques, il faut prendre en considération les points les plus représentatifs de la route et les zones présentant des conditions climatiques similaires.

Les stations météorologiques sont connectées au poste de contrôle par les stations gérées à distance ; elles sont reliées par un câble téléphonique ou une fibre optique, en fonction de l'intégration ou non du système dans un autre plus complexe, de la nécessité de partager un canal d'information, et/ou des moyens financiers alloués au projet.

Éclairage

Introduction

L'éclairage est un des éléments qui influent le plus sur la sécurité routière. En particulier, lorsque la capacité des routes permet une meilleure répartition horaire du trafic, il fait croître la circulation de nuit. Le manque d'éclairage de

certaines tronçons périurbains sur le réseau espagnol à grande circulation pourrait expliquer pourquoi les taux d'accident sont supérieurs aux indices prévus sur le tronçon de référence correspondant. C'est ce qu'indique une analyse effectuée par le rapporteur sur la sécurité routière, lors des journées sur l'entretien routier qui se sont tenues à l'Escorial, en 1995. L'Association espagnole de la route a également réalisé une étude sur le thème « *Éclairage routier et sécurité* » qui décrit, entre autres, le processus de prise de décisions d'un conducteur, face à un obstacle.

Ce processus se déroule en quatre étapes :

- détection ou prise de conscience d'un obstacle ;
- identification de l'obstacle et acquisition d'informations suffisantes à son sujet ;
- décision visant à donner une réponse appropriée ;
- réponse et mise en pratique de la décision prise après identification de l'obstacle.

Le temps qui s'écoule entre la détection et la réponse dépend aussi du niveau de luminosité. Ainsi le risque d'être impliqué dans un accident corporel est multiplié par 2,43 pendant la nuit. Il est clair que sur les routes où le trafic de nuit augmente nettement par rapport au trafic de jour, l'installation d'un éclairage public est un facteur à prendre en compte pour effectuer une gestion routière efficace.

Un système d'éclairage est constitué d'une installation électrique, des mâts des luminaires et de leur équipement de protection rigide ou semi-rigide. Ces installations doivent être contrôlées par chaque poste de commandement, pour adapter les niveaux d'éclairage au trafic ou à la présence de fumée ou de brouillard, optimiser les consommations d'énergie et la durée de fonctionnement de chaque lampe, et protéger les dispositifs de démarrage des dégradations dues à une lampe grillée.

Le contrôle de l'éclairage est assuré par les capteurs d'éclairement. Ceux-ci envoient les informations sur le niveau d'éclairage à la station gérée à distance, et un programme active un ou plusieurs niveaux d'éclairage.

En ce qui concerne les installations électriques, il est évidemment nécessaire de connaître leur état. Il est intéressant de savoir à tout moment quelles sont les lignes en service, et de détecter les pannes sur les lignes les plus importantes. Cela est facilement réalisable par la pose de relais en parallèle avec les lignes à contrôler.

Il existe deux paramètres très importants à vérifier dans toute installation électrique. Ceux-ci sont l'angle de phase et la puissance. Ces informations sont envoyées au poste de contrôle, à

l'aide d'un convertisseur analogique et par l'intermédiaire des stations gérées à distance. Pour la puissance, on mesure l'intensité circulant dans la ligne.

Quant aux lampes, élément final du système et visible pour l'utilisateur, elles sont en général de deux types :

- les lampes à vapeur de sodium à haute pression, d'un rendement de 100 à 140 Lm/watt, sont très couramment employées ;
- les lampes à vapeur de sodium à basse pression consomment moins d'énergie et produisent une lumière monochromatique présentant des avantages évidents en cas de brouillard.

Enfin, les supports de luminaires peuvent être, entre autres, en acier galvanisé, en aluminium ou en fibre de verre.

Il existe aussi des supports de luminaires pliants en acier, qui possèdent des caractéristiques structurelles non conformes à la norme espagnole en la matière, mais dont le comportement face aux chocs est meilleur que celui des supports homologués actuellement, et mérite donc d'être mentionné dans cet exposé.

Tunnels

Les conditions spécifiques régnant à l'intérieur des tunnels rendent plus complexes les systèmes de contrôles destinés à y assurer un bon niveau de sécurité routière et dont les caractéristiques sont décrites dans ce qui suit.

Système de contrôle de la ventilation

L'installation de dispositifs de ventilation à l'intérieur des tunnels est nécessaire en raison de l'émission de gaz nocifs, due à la combustion de gazole et d'essence par les moteurs des véhicules.

Ceux-ci dégagent, entre autres, de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone (CO_2) et du monoxyde de carbone (CO). Le gaz le plus nuisible à la santé est le monoxyde de carbone. Lorsque l'on respire ce gaz incolore et inodore, il se dissout dans le sang et empêche l'oxygénation des cellules. Inhalé en doses faibles, il provoque des nausées et des vomissements. Si la quantité de monoxyde de carbone augmente, elle provoque le coma et peut entraîner la mort.

La concentration maximale sur le lieu de travail de monoxyde de carbone considérée comme non nuisible à la santé pendant une journée de travail de 8 h d'affilée est de 100 ppm. Si l'on transpose ces valeurs au cas d'un tunnel et si l'on estime que personne ne doit s'arrêter à l'intérieur pendant un laps de temps prolongé, la concentration autorisée peut atteindre des valeurs comprises entre 150 et 200 ppm.

La ventilation forcée au moyen de puissants ventilateurs (fig. 7) permet de déplacer de grands volumes d'air. Elle renouvelle l'atmosphère et réduit la teneur en monoxyde de carbone à des niveaux acceptables et non nuisibles.

Les ventilateurs doivent être reliés à un système de contrôle, qui déclenche leur fonctionnement si le niveau de monoxyde de carbone devient dangereux.

On peut classer en trois groupes les appareils destinés à la supervision et au contrôle de la teneur en CO, selon leur type de fonctionnement :

- absorption des rayons infrarouges : celle-ci diffère selon chaque gaz ;
- combustion catalytique : principe basé sur la mesure de la température dégagée lors de l'oxydation du CO dans une chambre de combustion ;
- oxydation électrochimique : réaction de réduction du CO créant un courant électrique proportionnel à la concentration de CO.

Parmi ces trois méthodes de détection du monoxyde de carbone, les plus employées dans les tunnels sont les deux dernières.

La circulation dans les tunnels est confrontée à un autre problème important : l'opacité de l'air. Les gaz d'échappement contiennent des particules en suspension, dont l'accumulation peut provoquer une diminution très importante de la visibilité. En renouvelant l'atmosphère, les ventilateurs expulsent hors du tunnel les gaz et les particules en suspension. Ce phénomène s'observe en particulier dans les tunnels caractérisés par un trafic lourd de véhicules diesel.

La visibilité est un facteur très important. C'est pourquoi il convient d'en effectuer un suivi et un contrôle à l'aide de dispositifs appelés opacimètres. Ils sont constitués d'un système optique et sont basés sur le principe suivant : l'atténuation d'un faisceau lumineux traversant un échantillon d'air qui contient des particules en suspension est proportionnelle à la concentration de ces particules.

Il existe deux types d'opacimètres au fonctionnement différent :

- les dispositifs d'absorption de l'échantillon : absorption d'un échantillon et analyse de celui-ci à l'intérieur de l'opacimètre ;
- les dispositifs d'analyse directe : mesure de la concentration de la poussière dans l'air extérieur, grâce à un émetteur-récepteur émettant un faisceau lumineux dans l'air à mesurer et à un récepteur recevant et renvoyant le faisceau à l'émetteur-récepteur, en mesurant l'atténuation produite.

Dans les tunnels se produit fréquemment une circulation d'air due aux différences thermiques entre les deux extrémités du tunnel. Pour exploiter au mieux la ventilation naturelle, il faut connaître la

direction et la vitesse du vent et activer les ventilateurs d'une manière rationnelle. Cela est possible grâce à un anémomètre qui permet de connaître la direction du vent. Les ventilateurs fonctionneront donc dans le sens du vent indiqué par l'anémomètre au moment de l'extraction de l'air.

Par ailleurs, lorsque l'on connaît la vitesse du vent, on dispose d'un paramètre pour optimiser le fonctionnement des ventilateurs. Ainsi, le nombre de ventilateurs en fonctionnement diminuera avec l'augmentation de la vitesse du vent.

Les mesures du taux de monoxyde de carbone, de l'opacité de l'air, de la direction et de la vitesse du vent sont obtenues grâce à un ensemble d'analyseurs. Une fois traitées, ces mesures permettent de donner les instructions d'arrêt ou de mise en marche des ventilateurs, qui produisent la circulation d'air nécessaire pour adapter les paramètres aux niveaux appropriés.

Système de contrôle de l'éclairage

Puisque l'éclairage artificiel est indispensable à l'intérieur des tunnels (fig. 6 et 7), il est important que celui-ci s'adapte à tout moment à l'éclairage extérieur.

Un éclairage extérieur puissant associé à un faible éclairage intérieur produit un effet de « trou noir ». L'utilisateur qui entre dans le tunnel ne distingue pas ce qu'il y a à l'intérieur et est ébloui par le changement brusque d'éclairage à la sortie.



Fig. 6 - Contrôle d'accès à un tunnel au moyen d'un feu.

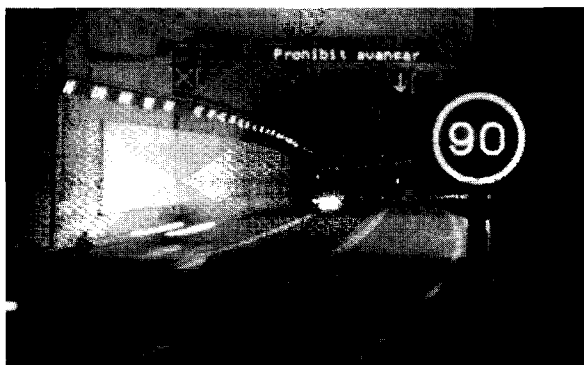


Fig. 7 - Signalisation variable et ventilation à l'intérieur d'un tunnel.

Le cas inverse (faible éclairage extérieur et puissant éclairage intérieur) pose des problèmes similaires : éblouissement à l'entrée et effet de « trou noir » modéré à la sortie.

Les conditions d'éclairage du tunnel dépendent de l'éclairage extérieur, car, pour éviter l'effet de « trou noir » ou l'éblouissement, il ne doit pas y avoir de contraste important entre les niveaux de luminosité à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel.

C'est pourquoi les informations sur le niveau d'éclairage extérieur sont transmises à un système de contrôle, qui gèrera un plus ou moins grand nombre de lampes, selon les niveaux d'éclairage prévus.

Le système de contrôle de la luminosité est constitué d'une série de cellules photoélectriques placées à l'extérieur du tunnel. Ces cellules effectuent les mesures nécessaires pour adapter les conditions de luminosité à l'intérieur du tunnel aux conditions existant à l'extérieur et éviter ainsi l'éblouissement des conducteurs.

Système de contrôle de l'alimentation électrique

Dans le poste de contrôle, il est important de connaître l'état des paramètres fondamentaux de l'installation électrique. Ce sont les suivants : tension générale du réseau, tension en ligne de la ventilation, éclairage, fonctionnement en ligne de groupe, fonctionnement du système d'alimentation ininterrompue, contrôle de l'angle de phase (analogique), puissance consommée par l'installation (analogique). Ainsi, on peut être informé à tout moment des éventuelles défaillances, et les résoudre rapidement.

Normalement, on installe des convertisseurs de puissance, d'angle de phase et de tension.

Ces appareils de mesure permettent de détecter toute anomalie qui pourrait survenir et de contrôler la consommation électrique dans le tunnel. Ce système est complété par des groupes électrogènes, qui alimentent les équipements en cas de panne de courant.

Système de bornes d'appel d'urgence

Ce système a pour fonction de répondre aux besoins de communication entre l'utilisateur et le poste de contrôle, en offrant un outil d'aide facile et rapide en cas d'incident.

Les besoins en communication sont plus importants à l'intérieur du tunnel, en raison de l'effet psychologique que celui-ci produit sur les usagers. C'est pourquoi la distance entre deux bornes d'appel doit être inférieure à la norme couramment appliquée à l'extérieur des tunnels. Si la distance maximale à l'extérieur du tunnel

est de 1 800 m, elle doit être réduite à 250 m à l'intérieur. Il faut également installer des boîtiers d'alarme au moins tous les 65 mètres.

Pour éviter qu'à l'intérieur du tunnel les usagers soient obligés de traverser une chaussée à double sens de circulation pour accéder à une borne d'appel, il convient d'installer les bornes d'appel en couple (maître et esclave), une sur chaque côté de la voie, à l'intérieur de niches ménagées à cet effet.

La borne extérieure doit être placée sur une plate-forme, et il convient de poser des glissières de sécurité et des garde-corps, pour assurer la protection de l'utilisateur et du dispositif.

Système de détection et d'extinction des incendies

À l'intérieur des tunnels comme dans les installations environnantes, il s'avère nécessaire d'installer un système permettant au personnel de contrôle de détecter rapidement un incendie en mettant à sa disposition les éléments nécessaires pour l'éteindre.

Ce système établit les conditions de prévention et de protection contre les incendies qui doivent être respectées dans les locaux et les tunnels. Il a pour fonction de protéger les personnes et les biens, en évitant la propagation du feu ou en réduisant les effets.

Le système de contrôle des incendies est constitué de deux sous-systèmes, de détection et d'extinction des incendies.

Système de détection des incendies

Dans les tunnels à ventilation longitudinale, il faut faire particulièrement attention aux risques d'incendie, puisqu'il n'y a aucun apport d'air frais ni aucun rejet d'air pollué. Dans les tunnels unidirectionnels, on peut réaliser une installation télécommandée, pour que les fumées chaudes se propagent dans la direction contraire aux véhicules bloqués derrière l'incendie. Dans les tunnels bidirectionnels, il est impossible d'obtenir cet effet. C'est pourquoi, si le tunnel est d'une longueur moyenne ou importante, il convient d'utiliser un système transversal ou semi-transversal pour effectuer la ventilation.

La détection d'un incendie le long du tunnel est fondée sur trois systèmes coordonnés :

- un capteur d'information linéaire sur la température, installé sur la clef de voûte du tunnel, qui évalue tous les 8 m la température existante et ses variations, et indique le sens dans lequel se propage la chaleur. À défaut, des capteurs de détection thermostatiques et thermocinétiques installés en différents points du tunnel ;
- des bornes d'appel d'urgence permettant de communiquer avec l'extérieur, installées tous les

250 m et associées à des boîtiers situés dans les espaces intermédiaires. Ainsi, en cas d'incendie, l'utilisateur n'a que 63 m maximum à parcourir pour donner l'alerte ;

- un système de télévision en circuit fermé permettant de voir l'intérieur du tunnel sur toute sa longueur.

Du point de vue de la détection automatique, les phases les plus importantes sont précisément la phase de latence et la phase de début de l'incendie. En effet, c'est pendant ces phases que le foyer d'incendie provoque des manifestations physiques suffisamment caractéristiques permettant une détection précoce.

Étant donné que le temps qui s'écoule entre le début de l'incendie et la phase d'accélération peut être long, une détection automatique permet d'étouffer le foyer d'incendie avec des moyens simples (des extincteurs, par exemple).

Au moindre incident, les détecteurs donnent l'alerte à la centrale de détection la plus proche, qui la transmet au poste de contrôle par l'intermédiaire du système de stations gérées à distance.

Les détecteurs sont répartis en zones. Chaque zone délivre les informations relatives à l'alerte. Les centrales de détection sont munies de cartes de relais pour répétition des alertes données dans les différentes zones de détection. De la même manière, elles répètent les alertes données dans la centrale par suite d'une défaillance ou d'une panne générale.

Le système peut être étendu à tout moment, et les possibilités d'ajouter plusieurs détecteurs par boucle ne doivent pas être limitées.

La centrale de contrôle doit être située près de l'accès principal de chaque local et doit être correctement protégée contre les vibrations, les fumées, la poussière, les émanations de gaz, de vapeurs, etc. À côté de chaque centrale de signalisation et de contrôle, doit figurer un plan du local indiquant l'emplacement des moyens de secours, ainsi que des consignes d'utilisation et les instructions nécessaires en cas d'incendie, de panne ou de défaillance (il est recommandé que ces instructions se présentent sous la forme d'une liste de points à vérifier). Il convient également de tenir un registre de contrôle dans chaque centrale, où seront notés les essais de vérification du bon fonctionnement de l'installation, les opérations d'entretien et les alertes données par l'installation, en précisant dans chaque cas leur nature (incendie, panne ou défaillance), et si possible, leur cause.

La centrale doit être alimentée par deux sources : le secteur et une batterie d'accumulateurs, afin d'assurer le fonctionnement de l'installation même dans les conditions les plus défavorables.

Les détecteurs situés dans les locaux techniques ou dans le bâtiment de contrôle peuvent être de deux types : détecteurs ioniques à aérosols à combustion, ou détecteurs optiques de fumée par diffusion de la lumière.

L'installation de boîtiers d'alarme permet de transmettre un signal d'alarme au poste de contrôle, pour localiser la zone correspondant au bouton qui a été activé, et prendre les mesures appropriées.

Lors de la sélection des zones d'incendie et de l'utilisation des détecteurs ioniques, il faut tenir compte d'un éventuel développement de l'incendie dans sa première phase, des conditions extérieures, et de la possibilité d'une fausse alerte dans les zones sous surveillance. Pour implanter ce système, il faut également prendre en considération la circulation d'air provenant des installations de climatisation ou de ventilation, et le type de voûte de tunnel.

La centrale doit être équipée d'une capacité de huit boucles auquel doivent être connectés les détecteurs ioniques, les détecteurs optiques de fumée, les boîtiers d'alarme et les détecteurs de présence d'extincteurs.

Sous-système d'extinction des incendies

À l'intérieur des tunnels, chaque borne d'appel d'urgence doit disposer d'un extincteur manuel à poudre sèche adapté aux incendies de classe ABCE. Toutes ces bornes d'appel d'urgence doivent être équipées de micro-rupteurs permettant de savoir si un extincteur a été retiré.

Il convient également d'installer trois extincteurs mobiles sur roues à poudre chimique sèche, un à chaque extrémité et un au centre du tunnel.

Quant aux locaux techniques, chacun d'eux doit être équipé d'extincteurs manuels, à poudre sèche, adaptés aux incendies de classe ABCE, et munis de contacts pour indiquer s'ils ont été retirés.

Des extincteurs identiques doivent être installés dans le bâtiment de contrôle.

Ces extincteurs doivent être placés sur des supports fixés sur les parements verticaux ou sur les piliers, de telle sorte que le haut de l'extincteur se trouve à 1,70 m maximum du sol, et ce, près des sorties des locaux, à des endroits bien visibles, sans pour autant gêner l'évacuation.

Chacun des locaux ainsi que le tunnel doivent être divisés en zones d'incendie. Pour chacune d'elles, l'ordinateur de contrôle reçoit un signal indiquant la présence de feu dans cette zone.

Système de contrôle d'accès au tunnel

Il permet de gérer l'entrée des véhicules dans le tunnel, afin d'empêcher une introduction en masse en cas de bouchon ou d'incident à l'intérieur du tunnel. En situation d'urgence, c'est ce système qui permet de fermer le tunnel à la circulation (fig. 6).

Système de signalisation

Il concerne les panneaux de signalisation à installer à l'intérieur et aux accès du tunnel, pour délivrer des informations facilement compréhensibles par les usagers, et améliorer ainsi le confort de conduite et la sécurité (fig. 7).

Système de contrôle du gabarit

Il a pour fonction d'empêcher l'accès à tout véhicule dont le gabarit excède celui autorisé pouvant causer ainsi des dommages aux différentes installations.

Pour éviter la circulation de véhicules d'un gabarit supérieur au gabarit autorisé dans les tunnels, il convient d'installer un système électronique de détection et d'avertissement de dépassement de gabarit en aval de l'accès, et à un endroit qui permette au véhicule de sortir facilement.

Le système de contrôle du gabarit est constitué d'un détecteur de hauteur, d'un détecteur de véhicules, d'un signal occultable et d'un panneau de pré-signalisation.

Ces dispositifs (détecteurs de hauteur, détecteurs de véhicules et panneaux) sont situés dans la zone d'accès au tunnel.

Le signal occultable se trouve sur le côté droit de la route correspondant au sens de circulation, et à 100 m environ en amont du dispositif de détection du gabarit. Le panneau indicateur fixe avertissant les conducteurs d'un contrôle de gabarit est situé entre 100 et 150 m en aval du dispositif de détection du gabarit. Le détecteur de hauteur est constitué d'une barrière d'infrarouge, insensible au rayonnement solaire ou à tout type d'éclairage et située à une hauteur correspondant au gabarit autorisé.

Le détecteur de véhicule à boucle inductive permet d'activer la barrière si la présence d'un véhicule est confirmée et évite l'activation du système par d'autres éléments traversant accidentellement le faisceau de la barrière.

Le signal combiné du détecteur de véhicules et de la barrière active le signal occultable.

À une distance variant selon le site, se trouve un espace où peuvent se garer les véhicules dont le gabarit excède le gabarit autorisé. Une borne d'appel d'urgence permet au conducteur de se mettre en communication avec le poste de contrôle.

Système de mesure du trafic

Il permet d'évaluer le volume, le type et les conditions du trafic circulant dans le tunnel. Les informations délivrées par ce système, traitées comme il convient, permettent d'effectuer un bon contrôle des accès au tunnel, de disposer de données statistiques sur le volume et la classification des véhicules, le sens de circulation, la vitesse et la distribution du trafic dans le tunnel. Ces données contribueront à la prise de décision en matière de politiques d'exploitation.

Système de circuit fermé de télévision

Il permet d'observer les véhicules tout au long de leur parcours, à l'intérieur et dans les zones d'accès du tunnel. Ce système est l'un des principaux outils de supervision et de protection des installations d'un tunnel et il est constitué de caméras fixes, nécessaires pour observer un véhicule tout au long de son parcours dans le tunnel, et de caméras mobiles à l'extérieur permettant le contrôle des accès :

➤ les caméras fixes, installées à l'intérieur du tunnel, doivent être montées sur un support

mural orientable, à une hauteur les protégeant de l'action directe du trafic. Chaque caméra à l'intérieur du tunnel doit permettre d'observer deux bornes d'appel d'urgence, dans chaque sens de circulation ;

➤ les caméras motorisées doivent être installées sur un pilier de 15 m de hauteur, à l'extérieur.

Système de communications

Pour connecter entre eux les différents systèmes décrits précédemment, il convient d'installer un réseau capable de mettre chaque dispositif en communication avec le poste de contrôle.

Poste de contrôle

Il est chargé de contrôler tous les systèmes mentionnés ci-dessus et est équipé de tous les ordinateurs et périphériques nécessaires. Il envoie les instructions aux différents dispositifs situés le long du tunnel et reçoit en retour les alertes correspondantes.

ABSTRACT

Variable message signs, lighting and other traffic management tools

P.G. RELAÑO

The topic of road safety stimulates a great deal of interest and gives rise to a wide range of activities. There is not always an obvious link between these activities which attempt, by synergy, to reduce the risk or severity of accidents as far as possible. Road safety has therefore produced a new culture which has a decisive influence in a very wide variety of areas.

Road safety policy in the broad sense of the term is based on four principles:

- driver education,
- active and passive safety and improving the quality and reliability of motor vehicles,
- use of the best techniques for project design and performing and monitoring highway construction works,
- network operation, by good traffic management, regular maintenance and optimum use of roads.

In this paper the author attempts to provide a general description and exploration of the main aspects of what constitutes « good » traffic management from the point of view of road safety.