

Travaux

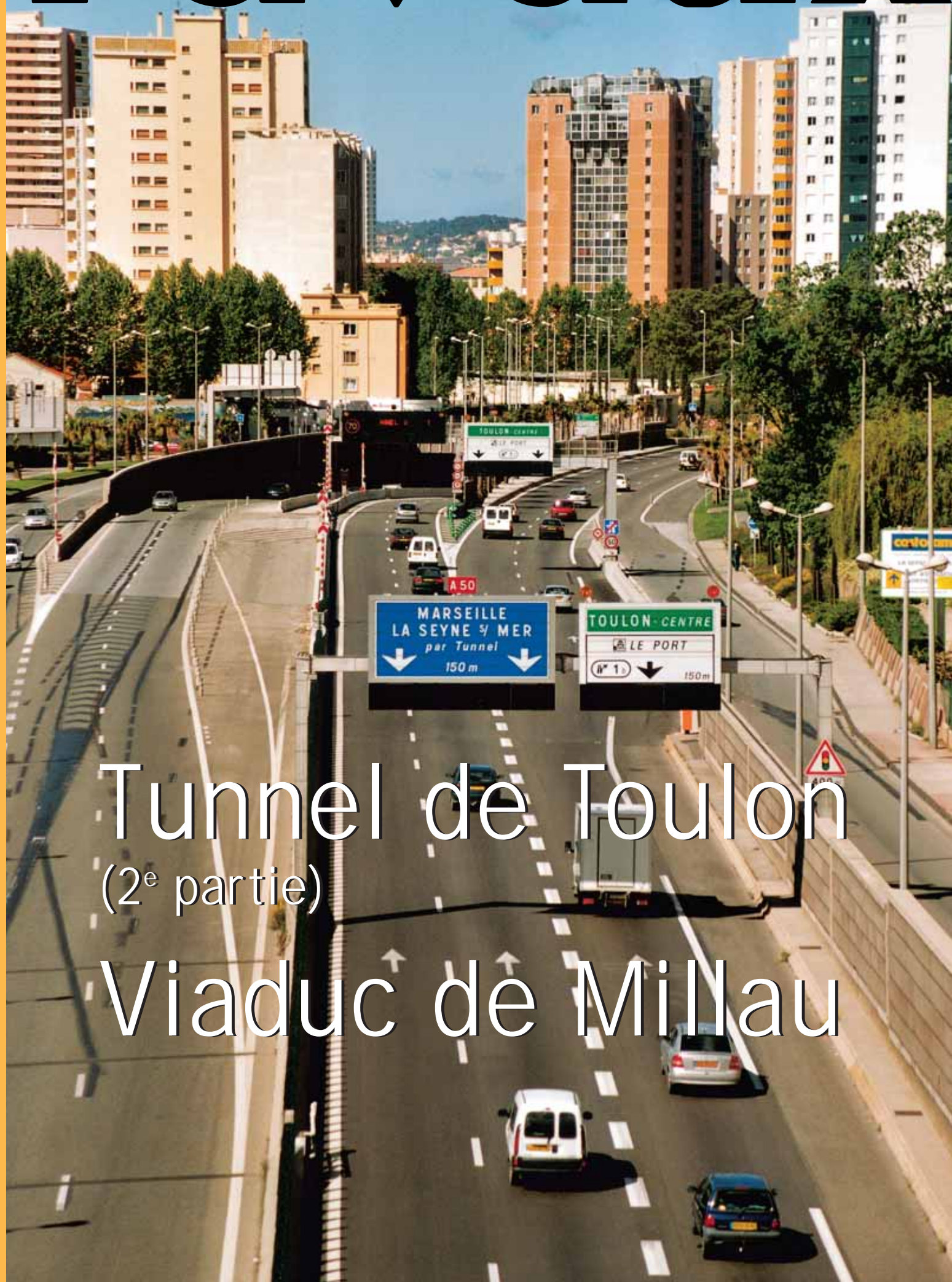
n° 808

TUNNEL DE TOULON

- Le système de ventilation
- Dispositions pour la sécurité des usagers
- Les équipements d'exploitation
- Bilan

VIADUC DE MILLAU

- Les choix initiaux et le projet
- La concession, une nouvelle approche du partenariat concédant-concessionnaire dans le domaine autoroutier
- Le point de vue du concessionnaire
- Discussion



Tunnel de Toulon (2^e partie)

Viaduc de Millau

Sommaire

Travaux
numéro 808

mai 2004
Tunnel de Toulon (2^e partie)
Viaduc de Millau



Notre couverture

Le tunnel de Toulon
en service

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 44 13 31 83
thonierh@fntp.fr

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 02 41 18 11 41
Fax : (33) 02 41 18 11 51
francoise.godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Agnès Petolon
10, rue Clément Marot - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 40 73 80 05
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 170 € TTC
Etranger (11 numéros) : 210 €
Etudiants (11 numéros) : 60 €
Prix du numéro : 20 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
Martin Fabre
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux). Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (Code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie S.A.
3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259



éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

8

techniques et matériaux

16

matériels

18

PRÉFACE

Jean Guénard

23

Tunnel de Toulon (2^e partie)

SYSTÈME DE VENTILATION

◆ Conception générale du système de ventilation

Br. Brousse

24

◆ L'unité de ventilation Castigneau (UV1)

R.-M. Baroni

29

◆ Construction de l'unité de ventilation Cdt Marchand (UV2)

G. Teisseire, C. Chaubert, A. Blanc, A. Delmare

32

◆ Le matériel de ventilation

S. Legrand

36

◆ L'alimentation électrique

M. Janin, F. Rivière

39

SÉCURITÉ DES USAGERS

◆ Intégration des conséquences de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc

A. Chabert

42

◆ Revêtement de protection incendie

G. Hamaide, M. Dolizy, R. Gonnet

45

◆ Etude spécifique de dangers (ESD)

J. Lecointre

48

◆ Organisation des secours. Genèse et élaboration de la stratégie d'intervention

Y. Pizzocaro

50

◆ La mission de police en tunnel. Une spécificité pour une CRS autoroutière

J.-L. César

53

EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION

◆ La gestion technique centralisée (GTC) du tunnel

S. Mongeot, M. Janin

56

Sommaire

mai 2004
Tunnel de Toulon (2^e partie)
Viaduc de Millau

Dans les prochains numéros

- Pont de Rion-Antirion
- Terrassements - Routes
- Travaux urbains - Environnement
- Ponts
- Réhabilitation d'ouvrages
- LGV Est
- International



◆ La supervision du trafic
Ph. Barlier, E. Pérard 59



◆ Les retransmissions radios
A. Conangle, R. Peix 64



◆ Eclairage et perception de l'espace
J.-P. Durand, M. Janin 66



◆ La peinture des piédroits
J.-L. Mahuet 69



◆ Le véhicule de secours tunnel (VST)
M. Persoglio, H. Tocan 71



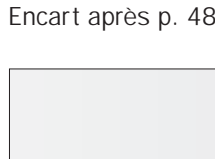
BILAN
◆ Eléments de coût de l'opération
A. Chabert, J.-P. Durand 73



◆ Mise en service et premiers résultats de l'exploitation
J.-P. Gentil 76



◆ Les enseignements d'un grand chantier
M. Levy 78



◆ Une fabuleuse aventure humaine
M. Georges 80

Viaduc de Millau

◆ Des procédures novatrices pour un ouvrage exceptionnel
Les choix initiaux et le projet 82

J.-Fr. Coste
◆ La concession, une nouvelle approche du partenariat
concedant-concessionnaire dans le domaine autoroutier 89

P. Vieu, P. Lechanteur
◆ Le point de vue du concessionnaire 96

M. Legrand
◆ Discussion 98

recherche 100

répertoire des fournisseurs 103

ABONNEMENT TRAVAUX

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

ALKOR DRAKA	13	SIPLAST	6 ET 7
COLBOND GEOSYNTHETICS	15	SYNDICAT DES ÉRUPTIFS	4
ICE	9	TDF SUBWAVE	19
LIEBHERR	2	TOTAL FINA ELF	4È DE COUVERTURE
LOXAM	2È DE COUVERTURE		

Quand l'intelligence rencontre la volonté, ou le développement d'une procédure vertueuse

C'est en ces termes que l'on pourrait qualifier le viaduc de Millau : point d'orgue et maillon manquant de l'autoroute A75, axe majeur de ce qui fut d'abord le plan routier de désenclavement du Massif Central et sera demain un vecteur européen nord-sud structurant évitant l'asphyxie du couloir Rhodanien.

Au moment où les contraintes sociales et économiques rendent chaque jour encore plus difficile le financement public de grandes infrastructures, cet ouvrage exceptionnel né d'une longue préparation par les services de l'Etat, objet d'une concurrence entre les meilleures compétences techniques internationales, fruit d'un mariage de la technique et de l'architecture particulièrement réussi, entièrement financé et réalisé par le groupe Eiffage constitue un modèle singulier et encourageant.

Lors de la conférence tenue à la FNTF le 2 octobre 2003 sous la présidence de Patrice Parisé, directeur des routes, Jean-François Coste, Patrick Vieu, Pascal Lechanteur, Marc Legrand, chacun des intervenants a mis en évidence avec pertinence et talent les ingrédients de la réussite.

> Les choix originels

Le meilleur tracé, l'inscription dans le site, le recours aux compétences les plus grandes, les nombreuses études préalables, approfondies, la conception technique et le choix architectural.

> La mise en concession

Gain de temps. Economie du projet.

Des engagements équilibrés, prise en compte des enjeux locaux, risque financier pris par le groupe Eiffage : autofinancement sans recours à l'emprunt, indépendance, chaîne de décision courte et claire. Construction par les entreprises du groupe. Une maîtrise d'œuvre intégrée mais autonome.

> Les choix techniques

Choix de la préfabrication pour limiter et délai et exposition au site (39 mois au lieu de 52).

Construction simultanée des piles et du tablier.

Des techniques éprouvées mais jamais utilisées à une telle échelle pour les piles.

Une méthode de lancement originale et audacieuse pour le tablier.

Des études parfaitement intégrées. Un découpage du chantier en entités autonomes.

Une maîtrise affirmée de toutes les techniques, un contrôle qualité simple et performant.

Ce chantier a permis un subtil mélange de techniques confirmées et d'innovation.

Le choix du concessionnaire d'utiliser le BSI®Ceracem pour coiffer d'une immense fine feuille la barrière de péage répond au double désir de saluer un ouvrage exceptionnel par un portail à sa hauteur et promouvoir là où l'acier est à l'honneur des bétons du futur.

> Les choix des hommes

Si Eiffage TP et Eiffel n'avaient pas été filiales du même groupe, et placés

sous la même direction,

si les hommes de l'étude n'étaient pas devenus ceux du chantier,

si le groupe au plus haut niveau n'avait pas investi toute sa volonté dans cette opération,

si les experts et l'autorité de contrôle n'avaient pas si bien joué leur rôle discret et vigilant...

La procédure choisie a vraiment été vertueuse.

Le site de Millau est exposé aux vents les plus violents, nous l'avons vérifié... et pourtant il souffle sur le viaduc de Millau un esprit magique.



■ JEAN GUÉNARD

Président
de la Compagnie
Eiffage du viaduc
de Millau¹

(1) Jean Guénard est également directeur général adjoint d'Eiffage Construction et président d'Eiffage TP

Conception générale du

La ventilation de l'ouvrage a été étudiée non seulement en fonction des besoins internes du souterrain mais aussi en considérant l'interface avec l'environnement urbain à protéger. La description succincte qui suit rappelle d'abord que la ventilation a été l'un des thèmes influents sur la définition du projet et que plusieurs solutions ont été envisagées, elle donne ensuite quelques hypothèses essentielles de dimensionnement en ciblant plus spécialement la sécurité en cas d'incendie et la protection de l'environnement des têtes et des unités de ventilation, pour finir enfin sur les dispositions constructives principales et le mode de fonctionnement des installations.

Les gaines de ventilation
Ventilation ducts



Comme pour toute réalisation d'un nouvel ouvrage souterrain routier d'importance, surtout en milieu urbain dense comme à Toulon, la ventilation de la traversée souterraine a été conçue sur la base de trois axes forts :

- ◆ en cas d'incendie en tunnel, garantir un désenfumage efficace pour protéger les usagers de l'envahissement des fumées et faciliter l'accès des secours. Les dispositions retenues ont été élevées au niveau des prescriptions récentes de la circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000, et notamment l'instruction technique de son annexe 2 ;
- ◆ en exploitation normale :
 - assurer une qualité de l'air correcte pour les usagers de l'ouvrage et les agents techniques de maintenance,
 - protéger l'environnement des risques de nuisances dues au tunnel : pollution et bruit.

Dès les études préliminaires des années 70, l'aspect ventilation a joué un rôle important dans la définition de l'ouvrage à cause de la nécessité d'intégrer des unités de ventilation dans la ville. Différentes variantes ont été comparées en prenant en compte la globalité du projet avec ses deux tubes unidirectionnels, mais aussi en considérant le phasage des travaux avec mise en service du premier tube unidirectionnel seul.

Le projet a dès l'origine retenu le principe d'une ventilation de type transversal, système le mieux éprouvé à l'époque de conception de l'ouvrage dans le contexte du trafic urbain et de la longueur importante en souterrain de trois kilomètres environ. A noter qu'une solution comparative de type longitudinal cantonné, avec unités d'extraction massives et injection intermédiaire avait aussi été étudiée.

Mais celle-ci aurait nécessité d'augmenter le nombre d'unités de ventilation à intégrer le long du tracé et elle ne bénéficiait pas encore d'un retour d'expérience suffisant vis-à-vis d'une exploitation délicate : elle n'a pas été retenue. Cette solution qui a, depuis, été mise en œuvre à l'étranger, pourrait être examinée de nouveau aujourd'hui pour l'équipement du deuxième tube, la baisse importante des besoins en ventilation sanitaire ainsi que l'amélioration des systèmes d'exploitation tant en situation normale qu'en cas d'incendie, favorisent en effet son application.

■ BASES DE DIMENSIONNEMENT

Désenfumage

Le tunnel étant à gabarit normal et accessible aux poids lourds, l'incendie de référence retenu est un feu de 30 MW dégageant un débit de fumée de 80 m³/s. Sur cette base, et grâce aux possibilités de contrôle du courant d'air en tunnel en jouant sur les régimes de ventilation, la capacité d'extraction mobilisable sur toute longueur de 400 m de tube est de 110 m³/s.

Renouvellement sanitaire de l'air

Fondés sur le critère de la dilution des polluants émis par les véhicules intégrant 5 % de PL, les calculs des besoins en air frais ont pris en compte les situations de circulation urbaines les plus défavorables : saturation et congestion des deux voies ainsi que blocage total du trafic.

Avec les seuils de pollution limites admissibles de l'air préconisés en opacité, NO₂ et CO, et en tenant compte de l'effet des déclivités, le débit d'air frais total installé pour l'ensemble du tube de 2 967 m de longueur ressort à 358 m³/s, soit le ratio moyen d'environ 60 m³/s.km de voie.

Aspiration de l'air vicié, protection de l'environnement

Les besoins en extraction d'air vicié en exploitation normale découlent des impératifs de protection de l'environnement des têtes de tunnel, et plus spécialement la tête de sortie ouest vers laquelle l'effet de pistonnement a tendance à entraîner tout l'air du tube.

systeme de ventilation

Bruno Brousse



EXPERT AU PÔLE
VENTILATION
ET ENVIRONNEMENT
Centre d'études des tunnels

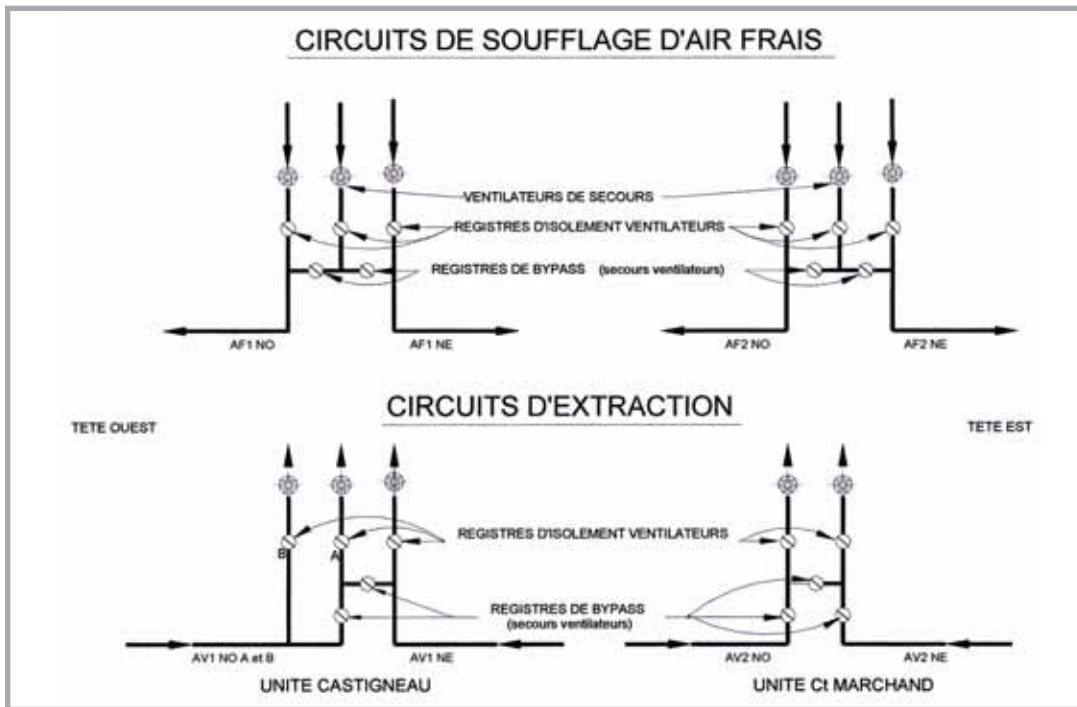


Figure 1
Circuits de soufflage
d'air frais

Fresh air blowing
circuits

Suite aux calculs des rejets et aux études de dispersion atmosphérique réalisées sur maquette, il a été décidé de pouvoir extraire un débit équivalent au débit soufflé en renforçant de plus l'extraction en zone de sortie là où la concentration en polluants est en général la plus élevée.

En pratique la figure 1 montre que la capacité d'extraction d'air vicié est plus importante que nécessaire pour l'exploitation normale car on dispose, sur chacun de trois tronçons, du débit de 110 m³/s prévu pour le désenfumage, débit que l'on a même doublé pour le canton de sortie où le niveau de pollution en tunnel est en général le plus élevé. La capacité totale d'extraction de l'ouvrage ressort donc à 550 m³/s.

■ SCHÉMA DE VENTILATION

Deux unités de ventilation mixtes (soufflage et extraction) prennent en charge chacune la moitié du tube ; il s'agit de Castignneau (UV1) à l'ouest et Commandant Marchant (UV2) à l'est. Chaque station alimente en T sa partie, ce qui divise le tube en quatre tronçons de ventilation indépendants. La figure 1 indique les débits de soufflage et d'extraction propres à chaque tronçon, et montre le principe des circuits de ventilation et des systèmes de secours prévus en cas d'indisponibilité d'un ventilateur.



Réseau de ventilation
des ouvrages de sécurité

Safety structure
ventilation network

◆ circuit d'air frais : chaque tronçon dispose de son propre ventilateur. De plus, un ventilateur spécifique de secours peut reprendre le débit intégral de l'un des deux tronçons grâce à un système de registres de "by-pass" pour les distinguer des registres d'isolement classiques des moto-ventilateurs ;

◆ circuit d'air vicié : chacun des tronçons dispose de la même manière de son propre ventilateur. Seul, le tronçon de sortie ouest est équipé de deux machines en parallèle en raison du débit beaucoup plus important à extraire. Le secours d'un tronçon est assuré par basculement sur celui-ci, du débit du (ou de l'un des) ventilateur(s) du tronçon adjacent, grâce à des registres de "by-pass".

Figure 2
Section courante,
coupe type du tunnel

Link section,
typical cross section
of the tunnel

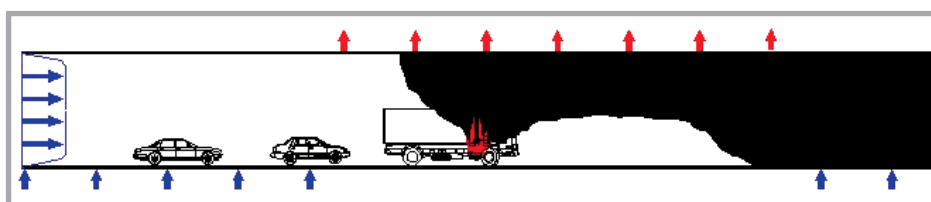
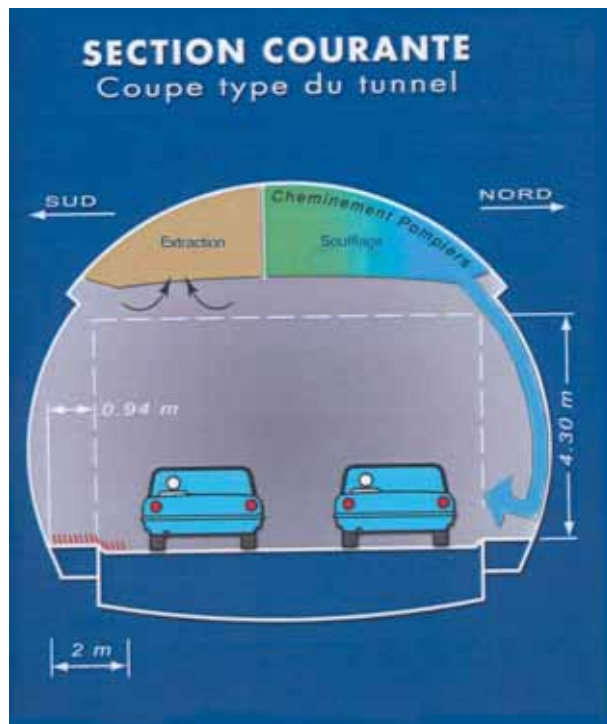


Figure 3
Désenfumage tunnel vide à l'aval
Smoke control with tunnel empty downstream

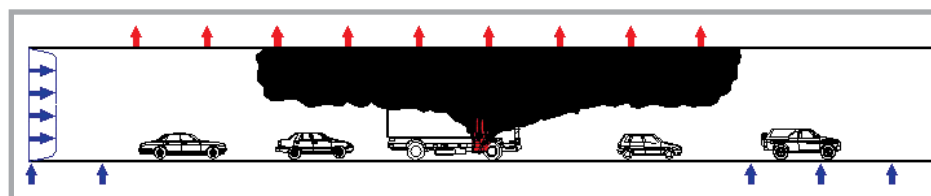


Figure 4
Désenfumage véhicules
bloqués à l'aval
Smoke control
with vehicles blocked
downstream

■ DÉBIT ET PUISSANCE DES VENTILATEURS

Ces données figurent dans un article à suivre sur le matériel de ventilation.

La puissance totale installée pour la ventilation du tube nord est de l'ordre de 2,8 MW. Le principe de l'alimentation électrique est donné à l'article sur l'alimentation électrique.

■ DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Unités de ventilation

Les deux unités sont conçues et construites pour satisfaire aux besoins des deux tubes mais ne sont

équipées aujourd'hui que des onze ventilateurs nécessaires au tube nord. Les deux articles suivants développent l'aspect construction des deux bâtiments.

Alors que l'unité UV1 a dû, en raison de contraintes fortes d'insertion, être construite à distance du tunnel et comporte ainsi des galeries de liaison de 80 m environ, l'unité UV2 a pu utiliser le volume du puits d'accès créé pour les besoins du chantier de creusement. Dans les deux cas il a été opté pour une disposition verticale des ventilateurs hélicoïdes, solution bien adaptée au parti d'aménagement général des bâtiments avec raccordement en profondeur des ventilateurs aux galeries du tunnel, et rejet de l'air vicié en altitude. L'air frais est prélevé par des baies latérales et l'air vicié rejeté par des cheminées élevées d'une trentaine de mètres.

Outre le souci de leur bonne intégration architecturale, les unités ont fait l'objet d'une attention toute particulière pour leur impact sur l'environnement :

- ◆ d'une part vis-à-vis des risques de pollution par les rejets : la définition des cheminées s'est appuyée sur des études de dispersion de panache : simulations numériques et mesures vérificatives sur le site. Par ailleurs, à titre conservatoire, des volumes techniques ont été réservés sur les circuits d'extraction d'air vicié permettant à l'avenir d'y mettre en place, le cas échéant, des dispositifs de filtration électrostatique des particules. Les mesures de contrôle de pollution réalisées sur le site après ouverture au trafic confirment qu'ils ne sont pas utiles ;

- ◆ d'autre part vis-à-vis du bruit : d'importants dispositifs de protection acoustique (silencieux à baffles) ont été prévus pour absorber le bruit des ventilateurs et satisfaire aux critères à respecter en façade des habitations les plus proches.

Galerias de ventilation en tunnel (figure 2)

Grâce au cantonnement offert par l'implantation des deux unités, la section disponible en voûte au-dessus du gabarit routier (13 m² en partie creusée) a permis de loger une galerie de soufflage et une galerie d'extraction sur toute la longueur du tube sans nécessiter de surexcavation. La sous-face de la dalle de ventilation a reçu une protection thermique dans toute la zone où la galerie d'air frais peut servir à l'évacuation des abris en cas d'incendie.

L'air frais est insufflé côté voie lente par des bouches réparties tous les 5 à 6 m selon deux dispositions :

- ◆ dans la partie centrale creusée (inter-stations), dont la galerie permet le cheminement d'évacuation, des carneaux ont été engravés dans le piédroit pour amener le point de soufflage en partie basse ;
- ◆ dans les parties d'extrémité le soufflage s'ef-

fectue directement par des ouvertures en plafond selon la technique des jets pariétaux.

L'extraction s'opère par la galerie adjacente au moyen de trappes à ailettes motorisées télécommandables de 2 m², espacées de 50 m. Elles sont à deux positions, ouverte ou fermée, et peuvent être utilisées de deux manières :

- ◆ en cas d'incendie en les ouvrant sur 400 m au droit du feu, soit huit trappes, de manière à y concentrer toute la capacité d'extraction. Des adaptations complémentaires liées au contrôle du courant d'air, en jouant sur la combinaison des régimes de ventilation dans les tronçons adjacents, sont par ailleurs prévues selon le scénario d'incendie (cf. infra le chapitre concernant le fonctionnement de la ventilation) ;

- ◆ en exploitation normale, en extrayant si nécessaire l'air vicié par les huit trappes situées en extrémité ouest de chaque tronçon.

Les caractéristiques des principaux matériels sont décrites dans un article à suivre sur le matériel de ventilation.

■ FONCTIONNEMENT DE LA VENTILATION

Le système de ventilation est entièrement piloté par la gestion technique centralisée (GTC) connectée au centre d'exploitation du trafic (CIGT).

En exploitation normale, le fonctionnement est entièrement automatique par asservissement des ventilateurs à débit variable aux capteurs de pollution en tunnel, opacimètres et analyseurs de CO et NO (représentatif de NO₂). Pour traiter l'aspect protection de l'environnement de la tête ouest par extraction de l'air vicié, d'une part, et éviter les surconsommations électriques en ventilation d'autre part, les mises en régime obéissent à des règles de coordination entre stations et entre tronçons. En cas d'incendie, la GTC gère automatiquement la mise en configuration de la ventilation pour le désenfumage qui n'a besoin, pour être activée, que de deux informations de la part de l'opérateur au PC :

- ◆ le lieu de l'incendie repéré par zone de 200 m en tunnel (inter-distance entre niches de sécurité) ;
- ◆ l'état de la circulation : circulation fluide ou au contraire bloquée.

Les scénarios de désenfumage ont été préprogrammés sur la base de simulations numériques des écoulements d'air en tunnel et à leur calage grâce à des mesures de la ventilation naturelle réalisées sur plusieurs mois (sensibilité aux contrepressions atmosphériques aux têtes) ainsi qu'à des tests de performance de l'installation avant ouverture au trafic : tests aérauliques purs en air froid et essais avec incendies réels de 5 MW.

Comme indiqué sur les figures 3 et 4, la stratégie de désenfumage diffère selon que des véhicules



Intérieur de la gaine d'air frais
Interior of the fresh air duct



Pose des trappes de désenfumage
Installation of smoke hatches

seraient ou non bloqués à l'aval du feu (par rapport au sens du trafic) :

- ◆ si le tunnel est vide à l'aval on extrait les fumées dans deux cantons en privilégiant un courant d'air vers l'aval garantissant une protection optimale des usagers bloqués à l'amont ;

- ◆ dans le cas contraire on cible l'obtention d'un courant d'air faible dans le canton d'extraction au droit du feu pour éviter la propagation des fumées dans les zones occupées de part et d'autre, tout en entretenant la stratification favorable des fumées en plafond.

Dans tous les cas le régime de soufflage est réduit à un quart dans le canton d'extraction ainsi que dans la zone centrale du tube dans laquelle les sapeurs pompiers peuvent être amenés à gérer l'évacuation des abris par la galerie d'air frais.

Des anémomètres répartis en tunnel permettent de connaître à tout instant le sens et l'intensité du courant d'air le long du tube.

Toutes les données relatives à la pollution et à l'anémométrie en tunnel ainsi qu'à l'état de fonctionnement de la ventilation (main courante) sont enregistrées sur fichier.

► ■ VENTILATION DES LOCAUX ANNEXES

En tunnel, les trois abris ainsi que les escaliers de secours profonds au droit des deux unités de ventilation sont mis en surpression par rapport au tunnel et bénéficient d'une ventilation en air frais entièrement indépendante de celle du tube, comme prescrit dans l'instruction technique d'août 2000. L'alimentation en air s'effectue par un conduit spécial enterré sous chaussée. Accessoirement les niches de sécurité, qui sont fermées par des portes, sont elles aussi alimentées par ce réseau pour assurer leur propreté.

Les différents locaux électriques sont pourvus d'une ventilation mécanique classique.

■ COÛT DE LA VENTILATION

Les principaux postes sont chiffrés dans l'article concernant les éléments de coûts de l'opération.

ABSTRACT

General design of the ventilation system

Br. Brousse

The ventilation for the structure was designed not only according to the internal needs of the underground passageway but also considering the interface with the urban environment to be protected.

The following brief description contains first a reminder that ventilation was one of the subjects influencing the project specifications and that several solutions were considered. A few essential structural design assumptions are then given, targeting more specifically safety in case of fire and environmental protection of the heads and ventilation units, and ending with the main construction arrangements and the operating procedure for the facilities.

RESUMEN ESPAÑOL

Diseño general del sistema de ventilación

Br. Brousse

La ventilación de la estructura se ha estudiado no sólo acorde a las necesidades internas del subterráneo, sino también considerando su contacto directo con el medio urbano que se trata de proteger.

La descripción resumida que sigue recuerda, en primer lugar, que se han vislumbrado varias soluciones e indica, acto seguido, algunas hipótesis primordiales del cálculo dimensional insistiendo con mayor énfasis respecto a la seguridad en caso de incendio y la protección del medio ambiente de las bocas y de las unidades de ventilación, y para terminar, acerca de las disposiciones constructivas principales y el modo de funcionamiento de las instalaciones

L'unité de ventilation Castigneau (UV1)

Roger-Michel Baroni



ADJOINT AU CHEF
D'ARRONDISSEMENT
DDE du Var

Située au carrefour Villevieille, l'unité de ventilation Castigneau accueille les équipements qui permettent de ventiler la moitié ouest du tunnel. Sa construction a donné lieu à un concours d'architecture et à la passation de deux marchés de travaux avec le groupement d'entreprises Senec - Sogéa Sud-Est. La partie enterrée a dû être construite sous le niveau de la nappe.

Un protocole de transfert de gestion, associant la Ville de Toulon, l'Etat Equipement et l'Etat Défense, fixe la propriété, l'usage et l'entretien des installations.

■ RAPPEL DE LA DÉCLARATION D'UTILITÉ PUBLIQUE

Après l'enquête préalable à la DUP, le décret du 17 avril 1991 a déclaré d'utilité publique les travaux de la traversée souterraine de Toulon.

A ce titre l'emplacement de l'unité de ventilation ouest dite "Castigneau", ainsi que ses caractéristiques géométriques globales, dont en particulier la hauteur de la cheminée d'extraction de l'air vicié, étaient fixés.

■ LE FONCIER

Les terrains nécessaires à sa construction et appartenant en grande partie à la Marine Nationale ont fait l'objet d'une convention tripartite entre l'Etat Equipement, l'Etat Défense et la ville de Toulon, dans laquelle l'Etat Défense demandait, entre autres points et en contrepartie, la réalisation de cinquante places de stationnement en remplacement de celles situées sur les terrains cédés.

■ LE CONCOURS DE MAÎTRISE D'ŒUVRE ARCHITECTURALE

Le génie civil de l'unité de ventilation restant sous maîtrise d'œuvre de la DDE 83 - Arrondissement de Toulon, le concours lancé portait donc sur :

- ◆ une esquisse globale, devant permettre de mener une réflexion sur un aménagement général d'urbanisme de l'entrée ouest de Toulon afin d'en valoriser son image. Le projet d'unité de ventilation devant se greffer harmonieusement dans le vide urbain existant. Un programme détaillé indiquait les besoins exprimés par les diverses collectivités ;
- ◆ une esquisse particulière, permettant, en l'attente d'une réalisation future sous forme de ZAC et sous maîtrise d'ouvrage Ville de Toulon, de s'assurer d'une intégration harmonieuse du bâtiment dans son environnement existant.



Début
de la construction
de l'UV1

*Start of construction
of UV1*

Le 11 avril 1994 le jury de concours retenait le groupement d'architectes De Portzamparc (Paris), Baixe-Bensoussan-Gomez (Toulon) pour la réalisation architecturale de l'unité de ventilation proprement dite et des espaces extérieurs.

Par décision du jury, il était convenu, lors de la mise au point du marché négocié de maîtrise d'œuvre, d'intégrer une légère modification de l'esquisse particulière pour prendre en compte un remodelage de la géométrie du carrefour urbain permettant de liasonner la plate-forme verte prévue à l'ouest avec l'unité de ventilation. Ces dispositions permettaient d'installer sous la dalle verte prévue sur remblais perdus le parking de 50 places exigé par la Marine. Ainsi le marché de maîtrise d'œuvre fut approuvé le 25 août 1994 pour un montant de 151 840 € TTC (996 000 F TTC).

■ L'APPEL D'OFFRES TRAVAUX

L'appel d'offres portait sur deux postes : le génie civil et l'aménagement architectural.

C'est en définitif le groupement Senec - Sogéa Sud Est qui fut retenu avec :

- ◆ un marché sous maîtrise d'œuvre "architectes" approuvé le 1^{er} juillet 1996 pour un montant de 1 981 840 € TTC (13 000 000 F TTC);
- ◆ un marché sous maîtrise d'œuvre DDE83 - Arrondissement de Toulon approuvé le 4 décembre 1995 pour un montant de 2 020 400 € TTC (13 253 000 F TTC) avec un délai d'exécution de 17 mois.

■ CARACTÉRISTIQUES DU GÉNIE CIVIL

L'unité de ventilation comporte :

- ◆ une partie enterrée de - 6,80 à + 4,50 NGF ;
- ◆ les planchers techniques et les gaines de ventilation entre + 4,50 et + 20,50 NGF ;
- ◆ la cheminée de + 20,50 à + 34,50 NGF.

Les principales quantités mises en œuvre sont les suivantes :

- ◆ béton de fondation : 700 m³ ;
- ◆ béton H.P pour voiles, dalles, poteaux, poutres : 2 500 m³ ;
- ◆ armatures H.A. : 15 t ;
- ◆ aciers doux : 35 t ;
- ◆ complexes d'étanchéité : 10 000 m².

Le génie civil entre - 6,50 et + 4,50 a été réalisé à l'intérieur d'une enceinte périphérique en parois moulées maintenue par une double rangée de tirants de type 6 T 13 tendus à 65 t et à détendre en fin de chantier.

L'ensemble des réseaux publics avait été préalablement déplacé à l'extérieur de l'enceinte et ras-

semblés dans une galerie technique commune en grande partie autoporteuse.

La mise hors d'eau des fouilles s'effectuait par l'intermédiaire de trois pompes dont une de secours située dans un puisard implanté sous le futur radier et assurant l'exhaure de 92 m³/s. Le pompage devait prendre fin dès que la charge permanente du bâti serait supérieure à la poussée d'Archimède.

L'optimisation du couple "quantités, coûts" et la méthodologie d'exécution ont conduit le bureau d'études à proposer une structure autoporteuse constituée de voiles et de poutres reposant sur des poteaux ; et ce d'autant que seuls quelques planchers techniques supporteraient des charges permanentes ou passagères importantes. Seul le plancher + 4,50 NGF recevrait dans sa partie centrale un poids lourd de livraison des ventilateurs et pièces annexes.

Le radier général d'environ 70 m² calé à - 6,50 NGF a été très fortement rigidifié en raison de l'hétérogénéité des sols (calculé avec des sous-pressions de l'ordre de 9 à 10 t/m²).

Les voiles extérieures de la zone enterrée ont formé un cuvelage étanche renforcé par une étanchéité constituée d'une membrane thermoplastique PVC translucide encadrée par un écran de désolidarisation en géotextiles préalablement fixé sur les parois moulées et par un écran de protection PVC en fonds de coffrage. Le tout a été exécuté sous compartimentage afin de faciliter les injections éventuellement nécessaires en cas de défaillances d'étanchéité constatées après l'arrêt du rabattement de nappe par pompage.

L'unité de ventilation Castigneanu terminée
The completed Castigneanu ventilation unit



■ PROTOCOLE DE GESTION ET DE RÉPARTITION PAR VOLUMES

A l'issue de la réalisation de l'UV et de l'ensemble des espaces extérieurs un protocole de transfert de gestion a été approuvé en octobre 1994 entre l'Etat Equipement, l'Etat Défense et la Ville de Toulon afin de fixer :

- ◆ la propriété des bâtis à l'Etat Equipement ;
- ◆ l'occupation et la gestion du parking de 50 places par la Marine ;
- ◆ la gestion des espaces verts, des zones piétonnes et paysagères, la dalle verte supérieure et de la voirie, à la Ville de Toulon.

Etaient joints à ce protocole :

- ◆ un plan de division en volumes par niveau depuis le - 4,50 NGF ;
- ◆ un état descriptif des divisions en volumes et leurs destinations.

ABSTRACT

The Castigneau ventilation unit (UV1)

R.-M. Baroni

Located at Villevieille intersection, the Castigneau ventilation unit houses equipment to ventilate the western half of the tunnel. An architectural design competition was held for its construction and two works contracts were placed with the Senec - Sogéa Sud-Est consortium. The underground section had to be built below the level of the water table.

A management transfer protocol between the City of Toulon and the State Equipment and State Defence departments defines the ownership, use and maintenance of the facilities.

RESUMEN ESPAÑOL

La unidad de ventilación Castigneau (UV1)

R.-M. Baroni

La unidad de ventilación de Castigneau -ubicada en el cruce Villevieille- contiene los equipos que permiten ventilar la mitad oeste del túnel. Su construcción ha dado lugar a un concurso de arquitectura y a la formalización de los contratos de obras con el grupo de empresas Senec - Sogea-Sud-Est. La parte subterránea ha tenido que ejecutarse bajo el nivel de la capa de aguas subterráneas.

Un protocolo de transferencias de gestión, en asociación con la Villa de Toulon, el Estado Equipamiento y el Estado Defensa, determina la propiedad, el empleo y el mantenimiento de las instalaciones.

Construction de l'unité Commandant Marchand

Située en plein cœur de la ville, l'unité de ventilation Commandant Marchand assure la ventilation de la moitié Est du tunnel nord de Toulon. Outre son rôle fonctionnel, l'ouvrage constitue également un ensemble architectural majeur pour la ville et un parc urbain.

La réalisation de cet ouvrage a été volontairement divisée en deux parties réalisées l'une à la suite de l'autre :

- une tranche ferme de génie civil constituant l'aspect fonctionnel de l'ouvrage;

- une tranche conditionnelle de traitement architectural en surface.

Les travaux ont été réalisés dans un délai record de 13 mois par l'entreprise générale Spie Batignolles TPCI sous la direction de la DDE du Var.

Les spécificités de l'ouvrage auront nécessité l'intervention de 20 entreprises partenaires et la mobilisation d'un effectif moyen sur la durée d'environ 45 personnes.

Créer un ouvrage à vocation multiple, tel fut le pari osé de l'équipe de concepteurs. Pari relevé et gagné par la DDE du Var et l'entreprise Spie Batignolles TPCI. Aujourd'hui, l'unité de ventilation Commandant Marchand assure en parallèle de l'unité de ventilation Castigneau, la ventilation du tunnel nord de Toulon mais constitue également un ensemble architectural majeur pour la ville et un parc urbain mis à la disposition de tous les citoyens.

Construite dans le "puits central", utilisé pour réaliser deux des trois attaques de l'excavation du tunnel, sa hauteur totale est de 56,50 m, du fond du puits (- 13,50 NGF) au sommet de la cheminée (+ 43,00 NGF). Elle est enterrée sur 27,00 m environ et comporte sept niveaux dédiés à la circulation dans le tunnel nord, la dalle de ventilation, les registres motorisés, les moto-ventilateurs, l'espace d'aspiration de l'air frais et enfin les galeries horizontales pour acheminer l'air vicié vers la cheminée sur deux niveaux. La cheminée, haute de 29,00 m est décalée vers l'est. Les locaux techniques recevant les transformateurs et les équipements de la gestion technique centralisée sont construits en surface, au sud de la cheminée.

LE MARCHÉ

La construction de l'unité de ventilation Commandant Marchand a fait l'objet d'un appel d'offres ouvert qui a permis d'attribuer un marché à l'entreprise générale Spie Batignolles TPCI. Pour des raisons de programmation et de financement ce marché comprenait une tranche ferme regroupant l'ensemble du génie civil et une tranche conditionnelle comprenant le traitement architectural et les équipements secondaires. Nous traiterons dans la suite de cet article de façon distincte ces deux parties d'ouvrage de natures très différentes.

■ TRANCHE FERME : GÉNIE CIVIL DE L'OUVRAGE

La réalisation de la tranche ferme fut complexe compte tenu des spécificités de l'ouvrage et des nombreuses modifications de projet dues à la mise en application de la circulaire interministérielle d'août 2000 concernant la sécurité dans les tunnels. La réactivité et l'étroite collaboration entre les différents partenaires ont permis la mise en conformité du projet en temps réel sans allongement du délai (photo 1).

Le chantier est décomposé en quatre zones :

- ◆ le bloc A comprend le confortement définitif du puits par une structure en béton armé complexe. Cette structure est aménagée pour recevoir les équipements de ventilation (ventilateurs, gaines, filtres, etc.). En surface, cette partie d'ouvrage reçoit les bouches d'entrée d'air frais;

- ◆ le bloc B comprend la cheminée d'évacuation de l'air vicié (26 m) et les gaines dans lesquelles transite l'air entre le bloc A et la cheminée;

- ◆ le bloc C regroupe les locaux techniques pour les installations électriques (transformateurs, groupes de puissance, etc.) ainsi que les locaux et garages affectés à l'exploitation et à la maintenance;

- ◆ enfin, le bloc D regroupe les fondations et les voiles porteurs des restanques (murs courbes) et de la rampe handicapés.

La diversité des tâches à réaliser, leur complexité ainsi que la gestion des inévitables interfaces ont conduit le chantier à se doter de moyens importants (figure 1 et encadré "Les principales quantités").

Etat des lieux des ouvrages du puits central avant travaux

Les ouvrages à construire couvrent la totalité d'une plate-forme sensiblement rectangulaire d'environ

Photo 1
Maquette
et localisation
des blocs

Mock-up and location
of blocks



de ventilation (UV2)

2500 m². Cette plate-forme se trouve en pleine ville, à proximité d'immeubles d'habitation et est adjacente à l'axe routier Nice-Marseille, l'avenue du Commandant Marchand.

Le puits central de section rectangulaire 25 m x 15 m est profond d'environ 26 m. Ses parois sont constituées de parois moulées en béton armé de 2,80 m de largeur pour 0,80 m d'épaisseur.

En phase provisoire, la stabilité du puits est assurée par quatre niveaux de butons. Chaque niveau est constitué de deux liernes sur les grands côtés maintenus par deux butons métalliques (traversant) de 1 m de diamètre, quatre butons métalliques d'angles ainsi que quatre butons d'angle en béton armé (dalle triangulaire).

Réalisation des travaux

L'aménagement du puits central fut sans aucun doute la partie la plus complexe du chantier.

Cela s'explique par la double vocation des ouvrages à construire, assurer la stabilité du puits et créer les aménagements nécessaires pour recevoir le process. Cette complexité fut accentuée par le changement de réglementation évoqué en introduction. Modifiant le process, cette nouvelle réglementation a modifié les aménagements réalisés pour celui-ci dans le génie civil. Compte tenu de la spécificité de l'ouvrage, cela a eu une incidence directe sur la stabilité et donc sur le phasage du chantier.

La coopération efficace entre les bureaux d'études (groupement Eulogos-Ingérop), le contrôle technique du maître d'œuvre (CETE d'Aix-en-Provence) et les équipes chantier a permis de gérer au mieux ces modifications et notamment en ce qui concerne les conséquences de celles-ci sur le phasage d'exécution.

Les efforts pouvant être repris par les différents ouvrages ayant subi des modifications ont dû sans cesse être revalidés en phase définitive comme en phase chantier. L'ordonnancement des tâches dans le puits a donc fait l'objet d'études approfondies compte tenu des opérations de débutonnage (avec transfert des charges sur les ouvrages nouvellement réalisés). Cela a conduit notamment à créer un niveau de plancher et de voiles en sous-œuvre et à réaliser certaines opérations de débutonnage

Georges Teisseire



CHEF DE LA SUBDIVISION
ÉTUDES ET TRAVAUX
NEUFS
DDE du Var

Cyril Chaubert



INGÉNIEUR TRAVAUX
Spie Batignolles TPCI

Alain Blanc



CONDUCTEUR
DE TRAVAUX PRINCIPAL
Spie Batignolles TPCI

Arnaud Delmare



INGÉNIEUR TRAVAUX
Spie Batignolles TPCI

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Montant des travaux : 5 760 528,08€ HT
- Tranche ferme : 4 501 288€ HT
- Tranche conditionnelle : 1 259 240,08€ HT
- Travaux sous-traités : 2 288 596,08€ HT
- Durée des travaux : 13 mois
- Quantité de béton mise en œuvre : 5 100 m³
- Quantité de ferrailage mise en œuvre : 550 000 kg
- Quantité de coffrage mise en œuvre : 25 000 m²
- Quantité de terre végétale mise en œuvre : 900 m³
- Effectif moyen sur chantier : 45 personnes

Moyens en personnel

- Effectif moyen : 45 personnes
- Effectif en pointe : 75 personnes
- Activité en 2 postes sur le bloc A (7h00 - 14h00 et 14h00 - 21h00)
- Activité en un poste sur les autres blocs (8h00 - 17h00)

Moyens matériels

- Deux grues à tour :
 - 1 Potain GT 431 C3 (flèche : 45 m/hauteur sous crochet : 45,50 m)
 - 1 BPR GT 431 B (flèche : 40 m/hauteur sous crochet : 27,50 m)
- 1 grue mobile 25 t pour des opérations ponctuelles
- 1 coffrage grim pant (cheminée du bloc B)
- Coffrages modulables (puits central)
- Banches métalliques (blocs B et C)

Figure 1
Organigramme encadrement
Management organisation chart

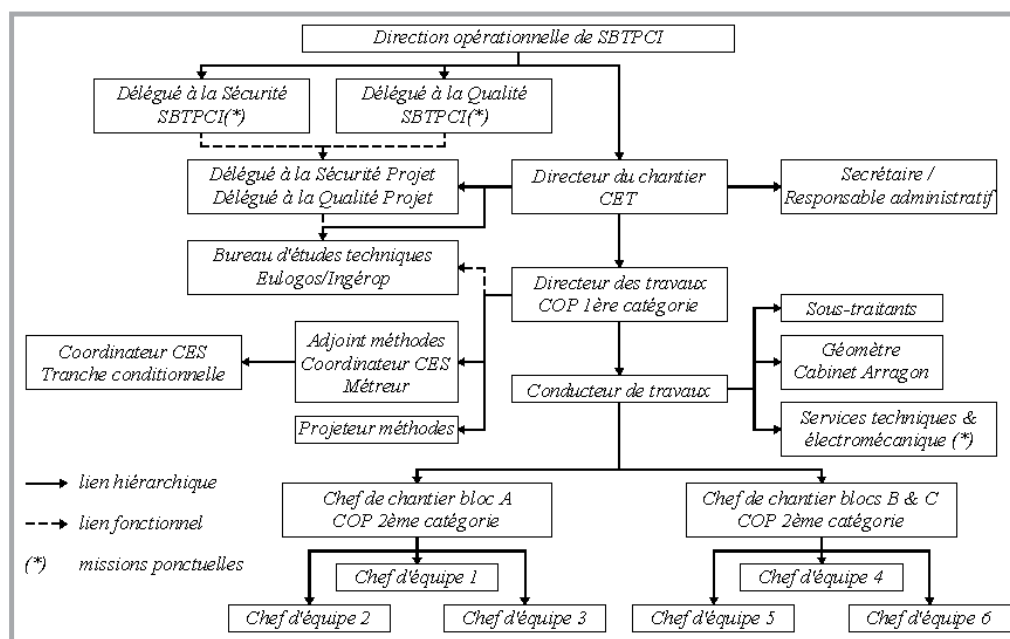




Photo 2
Réalisation des poutres
du niveau - 4,01
*Construction of girders
at level - 4.01 m*



en présence des niveaux inférieurs et supérieurs de planchers.

Au final, le puits comporte huit niveaux de plancher dont deux sont suspendus. Tous les planchers sont parsemés de trémies de plusieurs mètres carrés. L'ensemble de l'ouvrage "repose" sur quatre poutres massives (lg : 12 m ; ht : 4,60 m ; ép. : 1 m) situé au niveau - 4,01 NGF (le fond du puits se situe au niveau - 13,50 m). Ces poutres prennent appuis sur deux niveaux de liernes et assurent en grande partie la stabilité de l'ouvrage.

Les planchers et contre-voiles contribuent également à la stabilité du puits (photo 2).

■ TRANCHE CONDITIONNELLE : TRAITEMENT ARCHITECTURAL DE SURFACE

Issu d'un concours d'architecture remporté en 1994 par le groupement de maîtres d'œuvre Mario Fabre (mandataire), Philippe Fabre et Jean-Luc Mollard, François Brun, l'ouvrage en surface mêle les matériaux nobles pour créer un ensemble architectural harmonieux et un espace urbain convivial (photo 3).

Des prestations haute qualité pour donner vie à un ouvrage fonctionnel

L'équipe de concepteur a souhaité l'édification en surface d'un ouvrage architecturalement riche pour créer un contraste avec l'aspect fonctionnel de l'objet.

Bois exotique, inox, aluminium, toiles tendues, béton poli blanc et béton désactivé sont quelques-uns des matériaux nobles utilisés pour le traitement architectural de l'ouvrage. Seule l'entrée du garage a volontairement été laissée en béton brut pour rappeler la destination première des lieux.

Depuis la place basse dont les usages sont multiples (accès pour les services de secours et pour l'exploitation du tunnel), le visiteur a le choix des itinéraires pour accéder à la place haute. Il peut emprunter l'escalier monumental ou déambuler dans le jardin des senteurs par la rampe cheminant à travers les restanques.

La place haute constitue quant à elle l'espace de vie du parc. Divisée en deux espaces, l'un exposé, l'autre ombragé et abrité du vent, elle est agrémentée de mobiliers urbains et de plantations riches et variées (photo 4).

Une réussite à partager

Réussite pour les équipes de conception et de maîtrise d'œuvre, réussite pour l'entreprise générale mais réussite également pour les entreprises partenaires qui au travers de cet ouvrage ont montré tout leur savoir-faire. De l'artisan local aux compagnies nationales, Spie Batignolles TPCI a dû s'entourer de vingt entreprises partenaires pour réaliser le traitement architectural de l'ouvrage. Certaines prestations spécifiques ont d'ailleurs demandé des recherches importantes en phase étude de prix comme en phase chantier. Ce fut le cas par exemple pour le mobilier urbain, mélange de béton poli, de bois exotique et d'inox.

Mise en application des procédures qualité de l'entreprise

La complexité de l'ouvrage, la nature des matériaux à employer et le niveau de finition requis ont nécessité une réactivité immédiate de chacun et une coopération exemplaire entre tous.

Dans ce contexte de planning tendu, la mise en application stricte du système qualité développé par l'entreprise s'est révélé être une véritable clé de réussite.

Le suivi rigoureux des procédures et notamment les demandes de clarifications, de modification et d'agrément ont permis de réaliser dans les délais, un ouvrage conforme aux prescriptions de l'architecte.

La gestion minutieuse des interfaces et l'implication très positive de nos équipes et de nos partenaires ont permis la réalisation d'un volume d'activité de 1,26 M€ en quatre mois sur une surface de travail équivalente au 1/3 d'un terrain de football.

Cette réussite technique et organisationnelle est enfin complétée par l'atteinte de l'objectif "zéro accident grave ou mortel". Dans ce domaine, l'impli-



Photo 3
Ensemble de l'unité
de ventilation
*Entire ventilation
unit*

Photo 4
Détails de l'unité de ventilation
Ventilation unit details



cation de tous et l'adhésion de chacun aux règles communes en matière de sécurité ont été déterminantes et ont permis de dépasser les us et coutumes spécifiques au statut et domaine d'activité de chaque partenaire.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Marché en deux tranches

- Tranche ferme : génie civil
- Tranche conditionnelle : traitement architectural

Maître d'ouvrage

DDE du Var

Maître d'œuvre

DDE du Var

Architecte

Cabinet Mario Fabre

Assistant au maître d'œuvre

Cetu

Bureaux de contrôle

Cete Méditerranée & Socotec

Coordination sécurité

Presents

Entreprise générale (pour les deux tranches)

Spie Batignolles TPCI

Sous-traitants

- Alca Decor : cloisons
- Arvieu Molines : plomberie
- Azur Façades : enduits
- Basaltine : éléments préfabriqués
- Bonifay : bétons colorés
- CG2A : ascenseur
- Chamorin : mobilier urbain
- Cobatra : traitement antigraffiti
- Eurovia : réfection des enrobés
- Gaetano : carrelage
- HTP : peinture
- Icardie : remblai et terre végétale
- Lucido : menuiserie bois
- Mentor : menuiserie aluminium
- Morin Système Architectonique : parements de façade
- Snéf : Electricité-éclairage
- Papa : étanchéité
- Tecmi : charpente métallique
- Toiles & structures : toiles tendues
- Var industrie : serrurerie

ABSTRACT

Construction of the Commandant Marchand ventilation unit (UV2)

G. Teisseire, C. Chaubert, A. Blanc, A. Delmare

Located in the very heart of the city, the Commandant Marchand ventilation unit provides ventilation for the eastern half of the Toulon North Tunnel. Apart from its functional role, the structure also constitutes a major architectural unit for the city and an urban park. The execution of this structure was deliberately divided into two parts implemented one after the other :

- A firm civil engineering section constituting the functional aspect of the structure;

- A conditional architectural surfacing section.

The work was carried out in a record time of 13 months by the main contractor Spie Batignolles TPCI under the supervision of equipment authority "DDE du Var".

Given the special features of the structure, 20 contracting partners had to take part and an average workforce of about 45 people had to be employed over the contract period.

RESUMEN ESPAÑOL

Construcción de la unidad de ventilación Comandant Marchand (UV2)

G. Teisseire, C. Chaubert, A. Blanc y A. Delmare

La unidad de ventilación Comandant Marchand, ubicada en pleno centro de la ciudad, permite la ventilación de la mitad Este del túnel Norte de Toulon. Además de su cometido funcional, la estructura constituye también un destacado conjunto para la ciudad así como un parque urbano.

La ejecución de esta estructura se ha dividido resueltamente en dos partes, ejecutadas una a continuación de la otra :

- una etapa en firme de ingeniería civil, que constituye el aspecto funcional de la estructura;

- una etapa condicional de tratamiento arquitectónico en superficie.

Estas obras se han ejecutado en un plazo récord de 13 meses por parte de la empresa general Spie Batignolles

TPCI, bajo la dirección de la Delegación Departamental de Fomento del departamento del Var.

El carácter específico de esta estructura ha requerido la intervención de 20 empresas asociadas y la movilización de una plantilla de promedio de unas 45 personas para toda la duración de las obras.

Le matériel de ventilation

Cet article décrit le matériel de ventilation et de désenfumage installé dans le tunnel comprenant :

- les ventilateurs d'insufflation d'air frais et de désenfumage;
- les trappes de désenfumage;
- les dispositifs de contrôle de l'atmosphère;
- les ventilateurs des ouvrages de sécurité (niches, refuges, escaliers).

Le matériel de ventilation comprend principalement :

- ◆ les ventilateurs principaux assurant la ventilation hygiénique et le désenfumage, installés dans les usines de ventilation "Castigneau" et "Commandant Marchand";
- ◆ les trappes de désenfumage installées tous les 50 m dans les gaines d'air vicié;
- ◆ les dispositifs de contrôle de l'atmosphère;
- ◆ les dispositifs de ventilation annexes.

■ LA VENTILATION PRINCIPALE

Celle-ci permet d'insuffler 358 m³/s d'air frais dans le tunnel pour assurer la ventilation hygiénique et d'extraire 110 m³/s dans chacun des quatre cantons de ventilation en cas d'incendie.

Pour permettre cette fonction, les ventilateurs d'extraction peuvent fonctionner à une température de 200 °C pendant 2 heures.

Tous les ventilateurs sont associés à des variateurs de fréquence, permettant de faire varier leur vitesse, donc leur débit en continu (tableau I).

Pour permettre une sécurité maximale de l'ouvrage, tous les ventilateurs sont secourus. Les dispositifs de basculement sont assurés par des registres d'aiguillages et d'isolement.

Pour éviter toute nuisance sonore pour les riverains, les circuits de ventilation donnant à l'extérieur du tunnel sont équipés de dispositifs d'insonorisation.

■ LES TRAPPES DE DÉSENFUMAGE

Celles-ci, au nombre de 61, situées tous les 50 m en clé de voûte du tunnel, dans la gaine d'air vicié, d'une section unitaire de 2 m² sont entièrement réalisées en acier inoxydable.

Elles sont toutes fermées en fonctionnement normal.

En cas d'incendie, l'ouverture des trappes est télécommandée dans une zone de 400 m, au droit de l'incendie, afin d'extraire les fumées localement

Vue des cinq ventilateurs de l'usine de ventilation "Commandant Marchand"

View of the five fans of the "Commandant Marchand" ventilation plant



Ventilateurs des ouvrages de sécurité
Safety structure fans



Tableau I
Table I

Unité	Désignation	Débit m ³ /s	Moto-variateur Puissance nominale kW
Ventilateurs d'insufflation d'air frais			
Castigneau	AF1NO	56	75
	AF1NS	100	230
	AF1NE	100	200
Cdt Marchand	AF2NO	87	110
	AF2NS	115	230
	AF2NE	115	200
Ventilateurs de désenfumage pouvant fonctionner 2 h à 200°C			
Castigneau	AV1NOA	110	310
	AV1NOB	110	310
	AV1NE	110	511
Cdt Marchand	AV2NO	110	511
	AV2NE	110	511



et éviter qu'elles ne se propagent dans le tunnel. Pour permettre une parfaite efficacité du système de désenfumage, les trappes ont subi avec succès les tests suivants :

◆ ouverture et fermeture après avoir été soumises aux températures différentielles (sur chaque face) suivantes :

- 1/4 d'heure à 400/20 °C ;
- 1 heure à 200/200 °C ;
- 1 heure à 400/200 °C ;
- 1 heure à 600/200 °C.

Débit de fuite inférieur à 20 l/s/m² sous 300 daPa. Fonctionnement sous une dépression supérieure à 250 daPa avec un temps de manœuvre inférieur à 10 secondes.

■ LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE DE L'ATMOSPHÈRE

Les appareils de contrôle de l'atmosphère permettant le suivi de la pollution et de l'écoulement de l'air en tunnel ainsi que le pilotage du système de ventilation sont de plusieurs natures.

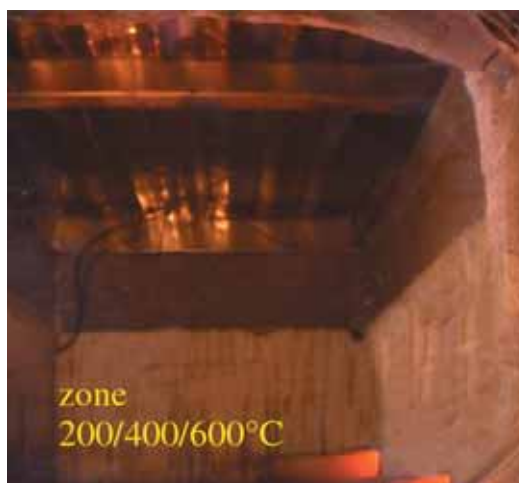
Le tableau II précise le nombre et les fonctions assignées à chaque capteur.

■ LA VENTILATION DES NICHES DE SÉCURITÉ ET DES REFUGES

Les ouvrages de sécurité dont est muni le tunnel sont ventilés au moyen de trois ventilateurs spécifiques qui permettent de distribuer l'air neuf né-

Opacimètre et capteurs de pollution

Opacimeter and pollution sensors



Essais en température des trappes de désenfumage

Testing of smoke hatches at high temperature

Nature	Fonction	Nombre
Opacité	<ul style="list-style-type: none"> • pilotage de la ventilation • suivi de la pollution en tunnel 	8
Analyse de monoxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> • pilotage de la ventilation • suivi de la pollution en tunnel 	9
Anémomètres	<ul style="list-style-type: none"> • détermination du régime de l'écoulement de l'air en tunnel • pilotage de la ventilation en cas d'incendie 	4
Analyse de NO	<ul style="list-style-type: none"> • pilotage de la ventilation • suivi de la pollution en tunnel 	9

Tableau II

Table II



Manutention pour la mise en œuvre d'un ventilateur d'air frais (ventilation principale)

Handling operations for installation of a fresh air fan (main ventilation)

► cessaire dans les différentes configurations d'occupation des locaux.

L'installation comprend, dans chacune des deux stations, trois ventilateurs, dont un en secours, insufflant de l'air neuf par l'intermédiaire de gaines dans chaque ouvrage de sécurité permettant d'assurer un débit de 36 m³/h dans chaque niche de sécurité et de 500 m³/h dans chaque refuge et escalier de secours (débit porté à 2500 m³/h en cas d'incendie).

■ LA VENTILATION DES LOCAUX ÉLECTRIQUES

Les locaux électriques de chaque unité sont ventilés au moyen d'un ventilateur centrifuge d'extraction d'air d'un débit unitaire de 4 m³/s permettant de limiter la température dans les locaux.

ABSTRACT

Ventilation equipment

S. Legrand

This article describes the ventilation and smoke control equipment installed in the tunnel, comprising :

- fresh air blowing and smoke control fans ;
- smoke hatches ;
- atmospheric monitoring systems ;
- fans for safety structures (recesses, lay-bys, stairs).

RESUMEN ESPAÑOL

El equipo de ventilación

S. Legrand

Se describe en el presente artículo el equipo de ventilación y de evacuación de los humos instalado en el túnel :

- ventiladores de insuflación de aire fresco y eliminación de los humos ;
- las trampillas del sistema de eliminación de los humos ;
- los dispositivos de control de la atmósfera ;
- los ventiladores de las instalaciones de seguridad (nichos, refugios, escaleras).

L'alimentation électrique

Michel JaninCHARGÉ D'ÉTUDES
Centre d'études des tunnels*Fabrice Rivière*CHEF DE SERVICE TRAVAUX
EXTÉRIEURS ET TRANSPORTS
Spie Trindel Côte d'Azur

Les équipements d'alimentation électrique ont été essentiellement conçus pour assurer la sécurité des usagers en tunnel. L'application de la nouvelle circulaire relative à la sécurité des tunnels renforce ces exigences.

Les principaux choix techniques ont porté sur la sécurisation des sources électriques au niveau des réseaux d'interconnexion EDF et des équipements du tunnel afin de pouvoir toujours mener à bien les opérations nécessaires pour la sécurité de l'ouvrage. Les études de sélectivité des protections électriques ont permis de minimiser les conséquences des défauts en n'affectant qu'un minimum d'équipements. Les équipements de gestion technique centralisée ont été intégrés au sein même des équipements courants forts. Une réflexion commune avec ces deux marchés a permis de rendre cohérent cette interface.

■ OBJECTIFS

Cet article porte sur le matériel et sur les dispositions qui permettent d'assurer l'alimentation électrique de l'ensemble des équipements du tunnel de la traversée de Toulon afin de permettre à l'usager de traverser le tunnel en toute sécurité et d'assurer sa sauvegarde en cas de sinistre.

■ CONCEPTION ET ÉTUDES

Commencée en 1991, la traversée souterraine de Toulon a vu sa dotation en équipements terminaux augmenter de manière conséquente (éclairage, ventilation, signalisation,...) pour répondre à la nouvelle circulaire interministérielle 2000-63 du 25 août 2000, relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national.

Mais le cœur du système, ce qui lui permet de vivre, c'est l'énergie.

L'instruction technique précise que le système d'alimentation électrique devra être maintenu en cas de coupure du réseau ainsi qu'en cas de défaillance partielle des matériels, afin que les usagers puissent se mettre hors de danger et que les premiers secours puissent intervenir. Les équipements de sécurité indispensables devront être alimentés par une source d'énergie électrique sans coupure avec une autonomie d'au moins une demi-heure, en cas de défaillance de l'alimentation électrique extérieure.

Différents aspects ont été traités : les sources électriques et notamment leurs redondances, les sources de secours, les cheminements des câbles, la sélectivité des protections électriques ainsi que les automatismes liés.

■ LES CHOIX TECHNIQUES

La sécurisation des sources électriques

Trois postes de livraison transformation EDF assurent l'alimentation du tunnel et des locaux techniques associés. Chaque poste dispose d'une double alimentation 20 kV en coupure d'artère provenant des postes haute tension 63 kV. On recense 44 cellules haute tension et 18 transformateurs HTA/BT de 100 à 1 250 kVA.

L'architecture du réseau d'interconnexion a été étudiée avec les services EDF pour permettre un secours immédiat sur chacun des points de livraison par l'intermédiaire d'un deuxième poste d'alimentation.

L'alimentation des équipements du tunnel

Les alimentations de la ventilation, grosse consommatrice d'énergie, et des équipements du tunnel sont dissociées dès le point de livraison par des ensembles de deux transformateurs spécifiques et redondants pouvant assurer un secours mutuel par l'intermédiaire de normal/secours basse tension. L'alimentation des stations de pompage est par contre réalisée en 5,5 kV par l'intermédiaire de transformateurs spécifiques. Elles bénéficient d'un secours, soit par une double alimentation issue de deux postes de livraison différents situés dans les unités de ventilation UV1 et UV2, soit par un groupe électrogène situé au niveau même de la station de pompage (figure 1, page suivante).

La distribution basse tension s'effectue par l'intermédiaire de dix tableaux généraux basse ten-

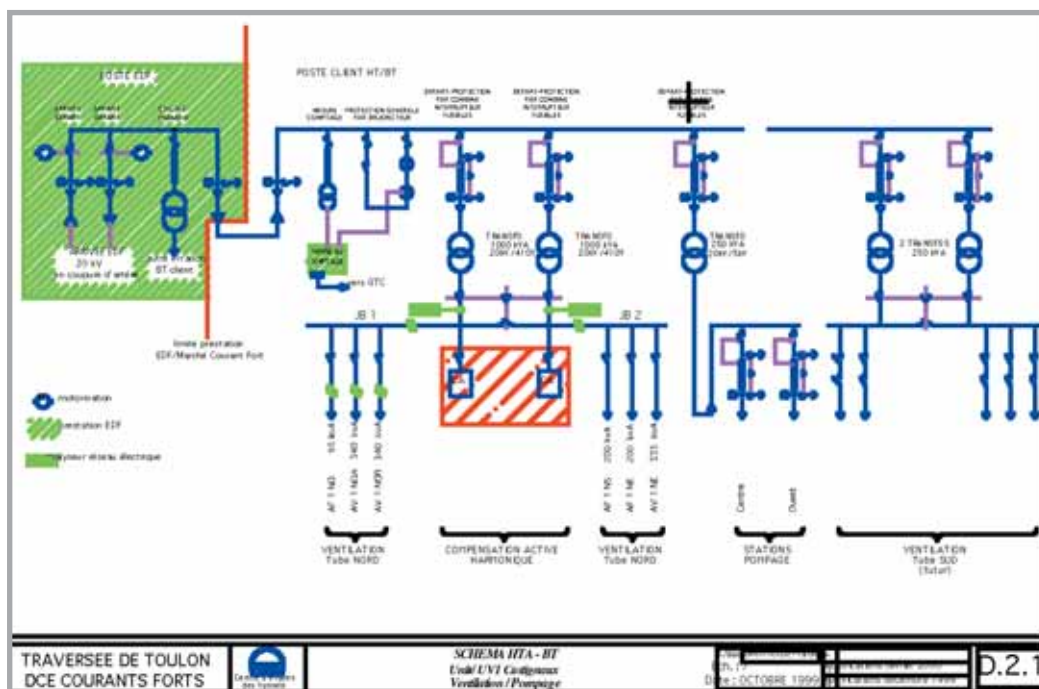


Figure 1
Schéma d'alimentation électrique unité de ventilation UV1

Diagram of ventilation unit UV1 electric power supply

Photo 1
Alimentation de secours par onduleur de 120 kVA avec une autonomie de fonctionnement d'une heure

Emergency power by 120 kVA uninterruptible power supply with an operating independence of one hour



Photo 2
Chemin de câbles en galerie technique
Cable tray in main services duct



► sion et de 25 coffrets d'alimentation BT pompée et équipements de sécurité répartis dans les différents sites techniques. Quarante-deux mille mètres de câbles électriques d'alimentation HTA, BT et de commande ont été mis en place.

Les alimentations de secours des équipements de sécurité

Dans les postes, les alimentations de secours sont réalisées grâce à quatre onduleurs de 60 à 120 kVA,



Photo 3
Coffret d'alimentation en tunnel avec interface GTC
Power supply unit in tunnel with BMS interfacing

qui permettent, en cas de perte totale d'alimentation sur un point de livraison, d'assurer l'alimentation des équipements de sécurité durant une heure afin de pouvoir assurer la fermeture du tunnel et permettre l'évacuation des usagers. Les onduleurs fonctionnent en "floating" et prennent le relai sans coupure en cas de perte de l'alimentation électrique tout en assurant une bonne continuité de service. Un by-pass extérieur permet d'isoler l'onduleur de l'alimentation électrique pour les opérations de maintenance (photo 1).

La sélectivité des protections électriques

Résoudre le défaut électrique au plus près de sa source était un impératif de manière à n'affecter qu'un minimum d'équipements. Une attention toute particulière a été portée à l'étude, réalisée grâce au logiciel Caneco, pour obtenir la meilleure sélectivité possible :

- ◆ **le nombre de protections en cascades** : compte tenu des longueurs importantes des circuits de l'ordre de 1000 m, il a été nécessaire de réaliser des coffrets électriques intermédiaires, avec des protections associées ;

- ◆ **les courants de court-circuit (ICC)** : déterminés par la source, ils sont restés toujours faibles en bout de ligne, compte tenu de la longueur et de la section des câbles, rendant plus délicat le réglage des protections des disjoncteurs ;

- ◆ **les coûts** : l'aspect économique reste une préoccupation constante et plus les protections permettent de réglages ou plus les câbles sont gros, plus le coût est élevé.

Ces facteurs contradictoires nécessitent de maîtriser l'ensemble des données de départ pour affi-



Photo 4
Appareils d'éclairage en tunnel
Tunnel lighting appliances

ner et optimiser l'étude. Concernant ce chantier, une compétence élevée dans ce domaine s'est avérée nécessaire (photo 2).

■ ÉNERGIE ET GTC

Bien que les marchés Alimentation électrique et GTC aient été séparés, la réflexion commune nous a permis de rendre cohérente cette interface. La plupart des équipements GTC de terrain sont intégrés physiquement dans les coffrets électriques, diminuant ainsi les risques liés à la connectique et aux liaisons externes. La sécurité positive est toujours préférée pour alerter sur défaut réel ou sur manque d'énergie. Il faut noter que les basculements automatiques permettant le maintien des alimentations sont gérés par du relayage simple et autonome (photo 3).

■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

La réalisation des travaux d'alimentation électrique s'est effectuée dans le courant de l'année 2002 et a fait l'objet :

- ◆ de la passation d'un marché de travaux attribué à la société Spie-Trindel comprenant l'installation des réseaux d'alimentation dans le cadre de la rubrique "Courants forts";
- ◆ de la collaboration avec les sociétés titulaires des marchés de gestion technique centralisée du tunnel (Clemessy) de ventilation (Howden) pour l'intégration des équipements de GTC dans les coffrets électriques et de l'éclairage (Eclatec) pour la pose des appareils en tunnel (photo 4).

ABSTRACT

Electric power supply

M. Janin, F. Rivière

Electric power supply equipment has been designed basically to ensure the safety of tunnel users. Under the new circular relating to tunnel safety, these requirements have become more stringent.

The main technical decisions concerned the security of electric power sources at the level of EDF (French electricity board) interconnection networks and tunnel equipment so as to be able to always carry out the operations required for safety of the structure. Electrical protection selectivity studies have made it possible to minimise the consequences of faults, which affect only a minimum of equipment. Building management system (BMS) equipment has been integrated into the high-voltage electrical equipment itself. Joint research for these two contracts made it possible to render this interface coherent.

RESUMEN ESPAÑOL

Alimentación eléctrica

M. Janin y F. Rivière

Los equipos de alimentación eléctrica se han diseñado especialmente para permitir garantizar la seguridad de los usuarios del túnel. La aplicación de la nueva circular relativa a la seguridad de los túneles viene a reforzar estos requerimientos.

Las principales opciones técnicas se han referido a la seguridad de las alimentaciones eléctricas a nivel de las redes de interconexión con las líneas de EDF y de los equipos del túnel, con objeto de poder llevar siempre a buen término las operaciones necesarias para la seguridad del túnel. Los estudios de selectividad de las protecciones eléctricas han permitido reducir al mínimo las consecuencias de los posibles fallos, asignando siempre el funcionamiento de un número mínimo de equipos. Las instalaciones de gestión técnica centralizadas se han integrado en el propio ámbito de las corrientes fuertes. Una reflexión común con estas dos contratos ha permitido dar la mayor coherencia a este interfaz.

Intégration des conséquences du Mont Blanc

Suite à l'incendie du tunnel du Mont-Blanc, les règles de sécurité dans les tunnels routiers ont été complètement revues. Ceci s'est concrétisé par la parution en août 2000 d'une nouvelle circulaire, alors que le génie civil du tunnel de Toulon était quasiment achevé. De nouvelles dispositions ont dû être étudiées en collaboration avec les services de secours, soumises au comité d'évaluation de la sécurité dans les tunnels routiers et intégrées dans la planification des travaux d'équipement. Il s'agit essentiellement de l'évacuation et de la protection des usagers en cas d'incendie : mise en communication des abris avec la gaine air frais utilisée comme cheminement d'évacuation, protection au feu de cette gaine, création d'une issue de secours supplémentaire. Des mesures relatives à l'exploitation ont également été prises, telles que l'interdiction d'accès aux poids lourds de plus de 19 tonnes.

Le 24 mars 1999, l'incendie d'un poids lourd dans le tunnel du Mont-Blanc provoquait le décès de 39 personnes. Cette catastrophe allait entraîner une prise de conscience des pouvoirs publics conduisant à une évolution importante des dispositions de sécurité dans les tunnels routiers. Celle-ci s'est traduite par la parution en août 2000 de la circulaire n° 2000-63 relative à la sécurité dans les tunnels routiers du réseau national.

A cette époque, la construction du tunnel de Toulon était bien avancée puisqu'il ne restait que 550 m à excaver sur les 1 800 m de tunnel foré. La jonction des deux derniers fronts de taille s'est effectuée le 13 mars 2000 et la construction du revêtement définitif s'est achevée le 17 août 2000. Dans ces conditions, l'intégration des nouvelles normes de sécurité a été particulièrement problématique sur cet ouvrage. Deux étapes peuvent être distinguées dans l'évolution du projet :

- ◆ les mesures prises juste après l'incendie du tunnel du Mont-Blanc, sur décision du maître d'ouvrage conseillé par le Cetu et avant la parution de la circulaire 2000-63 ;
- ◆ les mesures prises après la parution de la circulaire 2000-63 et suite à l'avis du Comité d'évaluation de la sécurité dans les tunnels routiers.

Photo 1
Maquette d'un abri
et de l'escalier de communication

*Mock-up of a shelter
and the linking stairway*



■ L'ÉVACUATION ET LA PROTECTION DES USAGERS

Le projet initial prévoyait d'utiliser, en phase provisoire, les amorces des galeries de jonction vers le second tube comme abris pour les usagers. Trois abris étaient ainsi prévus au sud du tube nord, espacés de 400 m et dotés d'une ventilation spécifique. Par ailleurs, trois escaliers de secours permettaient d'accéder directement à la surface dans les zones moins profondes.

L'incendie du tunnel Mont-Blanc a mis en évidence la nécessité de disposer d'un cheminement protégé, isolé de la zone circulée du tunnel, afin d'évacuer les abris en cas d'incendie important. A Toulon, c'est la gaine d'air frais qui assure cette fonction. Elle est située au-dessus de la chaussée, du côté nord du tube nord. Il a donc été décidé en 1999 de déplacer les abris du sud vers le nord, ce qui a nécessité de les réaliser en surexcavation, et de les mettre en communication avec la gaine air frais par des escaliers creusés dans le sol (photos 1 et 2). De plus, un escalier de secours supplémentaire a été prévu à l'extrémité Est du tunnel foré, afin de limiter à 400 m l'interdistance entre les ouvrages d'évacuation (photo 3).

L'instruction technique annexée à la circulaire 2000-63 a toutefois introduit les contraintes supplémentaires suivantes :

- ◆ la nécessité de disposer d'un cheminement d'accès pour les véhicules de secours en cas d'ouvrage monotube à un seul sens dépourvu de communications directes avec l'extérieur ;
- ◆ un abaissement à 200 m de l'interdistance maximale entre les ouvrages pour la protection et l'évacuation des usagers en ce qui concerne les tunnels urbains ;
- ◆ des précisions en ce qui concerne les exigences de résistance au feu des structures et des équipements ;

Le tunnel de Toulon entrant dans la catégorie des ouvrages en construction lors de la parution de la circulaire 2000-63, le comité d'évaluation de la sécurité dans les tunnels routiers (CESTR) a alors été saisi du dossier. Suite à son avis en date du 6 juin 2001, le maître d'ouvrage a décidé de réaliser les travaux complémentaires suivants afin de sécuriser la gaine air frais dans la zone centrale, où elle est utilisée comme galerie de secours (en réponse au point 3 ci-dessus) :

- ◆ création de carneaux de ventilation par découpe dans l'épaisseur des piédroits, refermée par une

de l'incendie du tunnel

Alain Chabert



CHEF
DE L'ARRONDISSEMENT
DE TOULON
DDE du Var

tôle inox avec protection au feu de cette tôle (photo 4) ;

◆ mise en place en sous-face de la dalle de ventilation d'un revêtement de protection incendie permettant à la gaine air frais de résister 2 heures au feu d'hydrocarbure majoré, sans que la température de la face supérieure ne dépasse 60 °C. Par contre, il n'a pas été possible de réaliser des travaux permettant de répondre à l'espacement hors normes des ouvrages pour l'évacuation et la protection des usagers d'une part et à l'absence de bande d'arrêt d'urgence permettant l'accès des secours d'autre part. C'est pourquoi des mesures complémentaires concernant les règles d'exploitation ont été arrêtées.

■ LES MESURES D'EXPLOITATION

Tout d'abord, la largeur des voies de circulation a été réduite au maximum afin de libérer une bande la plus large possible pour la circulation des secours sur le côté gauche de la chaussée (sud). C'est ainsi que le profil en travers réalisé comporte :

- ◆ un trottoir droit de 0,80 m ;
- ◆ une bande dérasée de droite de 0,40 m supportant le marquage de rive ;
- ◆ une voie de droite de 3,20 m ;
- ◆ une voie de gauche de 2,80 m ;
- ◆ une bande dérasée de gauche de 1,20 m supportant le marquage de rive ;
- ◆ un trottoir franchissable gauche de 0,80 m.

Une bande de 2,0 m a ainsi été libérée (bande dérasée + trottoir) et identifiée comme réservée au secours par l'utilisation d'un revêtement de couleur différente et la réalisation de zébras. A la demande du CESTR, les pompiers ont été dotés d'un véhicule d'intervention dédié au tunnel, de largeur réduite (qui fait l'objet d'un article spécifique).

Compte tenu de la présence dans l'ouvrage de courbes de 280 à 300 m de rayon, il s'est avéré souhaitable d'interdire l'accès à l'ouvrage aux semi-remorques et aux camions avec attelage vu la largeur réduite des voies de circulation. Sur la base de comptages effectués sur les autoroutes d'accès, il a été proposé de fixer à 19 t le PTAC maximum des véhicules autorisés à emprunter le tunnel. En abaissant considérablement le risque d'avoir un fort incendie dans l'ouvrage, cette mesure a également permis de répondre à l'espacement hors normes des ouvrages pour l'évacuation et la protection des usagers.

L'interdiction a été étendue aux autocars afin de li-



Photo 2
Intérieur d'un abri
Inside of a shelter



Photo 3
Réalisation
d'un escalier de secours
supplémentaire

*Construction
of an additional
emergency stairway*



Photo 4
Découpe des carreaux
Cutaway view of flues

miter le nombre de personnes susceptibles de se réfugier dans l'un des abris.

D'autres mesures concernant l'exploitation avaient été décidées avant la parution de la circulaire 2000-63 :

- ◆ la révision complète de la supervision afin d'intégrer dans le même système informatique d'aide à l'exploitation l'ensemble du réseau autoroutier non concédé de l'agglomération toulonnaise ;
- ◆ l'installation d'un système de détection automatique des incidents ;
- ◆ la mise en place de biseaux de rabattement automatiques et de barrières type SNCF pour fermer à distance l'accès au tunnel en cas d'urgence ;
- ◆ la mise en place d'un système analogue pour fermer la bretelle d'accès à l'autoroute depuis le centre-ville à l'aval du tunnel, afin de donner priorité à l'évacuation de celui-ci si nécessaire.

L'amélioration du système de supervision résulte non seulement de l'évolution des normes de sécurité mais aussi du développement rapide des



Signalétique et niche de sécurité
Signage and safety recess

technologies dans ce domaine. Ainsi, compte tenu du délai nécessaire pour réaliser le génie civil d'un grand tunnel, il est souhaitable de prévoir une mise à jour du projet détaillé des équipements juste avant le lancement des appels d'offre correspondants.

■ LES AUTRES MESURES

Elles concernent :

- ◆ l'augmentation de 75 m³/s à 110 m³/s du débit des ventilateurs de désenfumage (extraction) ;
- ◆ la mise en place de hublots lumineux de jalonnement espacés de 12,50 m des deux côtés de la chaussée, alors que le projet initial n'en prévoyait que tous les 25 m, du côté droit ;
- ◆ l'installation de prises de courant triphasé à disposition des pompiers dans les niches de sécurité ;
- ◆ le doublement de la liaison fibre optique entre le tunnel et le centre d'exploitation ;
- ◆ diverses dispositions pour assurer le niveau de protection approprié des câbles d'alimentation électrique et de télétransmission : passage en gaine air frais, augmentation de la hauteur de trottoir pour disposer d'une épaisseur de béton suffisante, remplissage des chambres de tirage...

■ CONCLUSION

L'intégration des conséquences de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc s'est traduite par un report d'environ 10 mois de la date de mise en service et par un surcoût estimé à 20 millions d'euros. Afin de répondre aux nouvelles dispositions, parfois mises en œuvre pour la première fois sur ce chantier, il a été nécessaire de faire appel à des technologies innovantes et à une concertation approfondie avec les services de secours.

ABSTRACT

Allowance for the consequences of the fire in Mont-Blanc tunnel

A. Chabert

Following the fire in Mont-Blanc tunnel, the safety rules in road tunnels were completely revised. This materialised in the publication of a new circular in August 2000, when civil engineering work on the Toulon tunnel was virtually completed. New provisions had to be examined in conjunction with the emergency aid services, submitted to the committee for assessment of safety in road tunnels and factored into the planning of equipment work. This concerns mainly the evacuation and protection of users in case of fire : linking of shelters with the fresh air duct used as an evacuation route, fire protection of this duct, and creation of an additional emergency exit. Measures relating to operations were also taken, such as the prohibition of access to commercial vehicles of more than 19 tonnes.

RESUMEN ESPAÑOL

Integración de las consecuencias del incendio del túnel del Mont Blanc

A. Chabert

A raíz del incendio del túnel del Mont Blanc, se han revisado completamente las reglas de seguridad en su aplicación a los túneles viales. Todo ello ha tomado forma concreta con la publicación en agosto de 2000 de una nueva circular, en un momento en que las obras de ingeniería civil del túnel de Toulon se encontraban ya en su fase de acabado. Por consiguiente, se han tomado nuevas disposiciones que se han estudiado en colaboración con los servicios de socorro, sometidas al Comité de evaluación de la seguridad en los túneles viarios e integradas debidamente en la planificación de las obras de equipamiento. Se trata, principalmente, de la evacuación y de la protección de los usuarios en caso de incendio : pasos de comunicación de los resguardos mediante el conducto de aire fresco utilizado como sistema de encaminamiento de evacuación, protección contra el fuego de este conducto, creación de una salida de socorro suple-

mentaria. También se han tomado medidas relativas al funcionamiento del túnel propiamente dicho, como, por ejemplo, la prohibición de acceso a los camiones pesados de más de 19 toneladas.

Revêtement de protection incendie

A la demande du CESTR, afin d'obtenir une résistance de deux heures au feu HCM des gaines de ventilation et de quelques autres parties de l'ouvrage, une protection passive a été mise en place dans le tunnel. L'entreprise Gonnet a été retenue pour réaliser cette protection, avec un système de protection technique à base de plaques Promatect T. Cette technique à partir de plaques préfabriquées de la société Promat, présentait des atouts et des références intéressantes pour le premier chantier de ce type dans un tunnel routier français. Des essais ont été réalisés en four pour contrôler les performances de la protection proposée, en respectant les configurations de pose prévues au marché. Les travaux se sont déroulés sur une période de deux mois, ils ont nécessité des moyens importants et beaucoup de technicité de la part des intervenants.

Le comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (CESTR) a demandé, le 30 mai 2001, que soit maintenue la praticabilité de la gaine d'air frais comme cheminement pour l'accès des secours et l'évacuation des usagers sur toute la longueur du tunnel comprise entre les deux stations de ventilation. Ce qui signifiait qu'il fallait prendre les dispositions nécessaires pour garantir que la dalle du faux plafond présenterait un degré coupe-feu de niveau N2, c'est-à-dire une tenue de 120 minutes au feu d'hydrocarbure majoré (HCM). Par ailleurs, la température de la face supérieure de la dalle et de la paroi séparant les deux gaines ne dépasserait pas 60 °C pendant 2 heures.

Les dispositions suivantes ont donc été retenues :

- ◆ les portes extérieures des abris seront coupe feu HCM 2 heures, 1 heure pour les portes intérieures des abris ;

- ◆ une protection de la dalle sera mise en œuvre, soit par produit projeté, soit par plaques (appels d'offre comportant deux solutions de base) ; les objectifs seront de ne pas dépasser, à 120 minutes, 380 °C sur la face du béton en contact avec l'isolant, 250 °C sur les aciers des structures en béton armé, 60 °C sur les parois de la gaine d'air frais, 550 °C sur les parois métalliques des carnaux de ventilation. Les offres seront analysées sur la base des justifications fournies par les entreprises (références, études, résultats d'essais pour diverses courbes de feux d'hydrocarbures...). Un essai de validation en laboratoire, selon la courbe HCM proposée par l'instruction technique annexée à la circulaire n° 2000-63, sera imposé pendant la période de préparation ;

- ◆ le plancher et la cloison verticale dans la gaine d'air vicié seront protégés sur une longueur de 10 m en aval et 2 m en amont de chaque trappe de désenfumage.

A l'issue de la consultation d'entreprises, c'est



Pose du revêtement de protection incendie

Laying the fire protection surfacing

l'offre de l'entreprise Gonnet qui a été retenue, avec une protection par plaques préfabriquées de type Promatect T, de la société Promat (78 Vernouillet).

Les épaisseurs proposées étaient les suivantes :

- ◆ E1 (sous-face de la dalle de ventilation) = 25 mm ;
- ◆ E2 (face de la cloison verticale dans les gaines de ventilation) = 30 mm ;
- ◆ E3 (paroi des niches techniques en aggloméré de béton enduit) = 25 mm ;
- ◆ E4 (tôle en acier inoxydable des carnaux) = 30 mm en 2 x 15 mm.

Le planning proposé prévoyait un chantier en deux postes, 5 jours par semaine.

Parmi les atouts de la solution plaques, on peut citer :

- ◆ des contraintes de mise en œuvre réduites :
 - pas de préparation de support car les plaques sont fixées par des chevilles et donc pas de risque de décollement causé par un défaut de préparation,
 - une pollution de l'environnement réduite, sans

Gilles Hamaide



ANIMATEUR DU PÔLE
PROCÉDÉS,
CONSTRUCTION,
MARCHÉS, EXÉCUTION
Centre d'études des tunnels

Marc Dolizy



RESPONSABLE TUNNELS
Promat

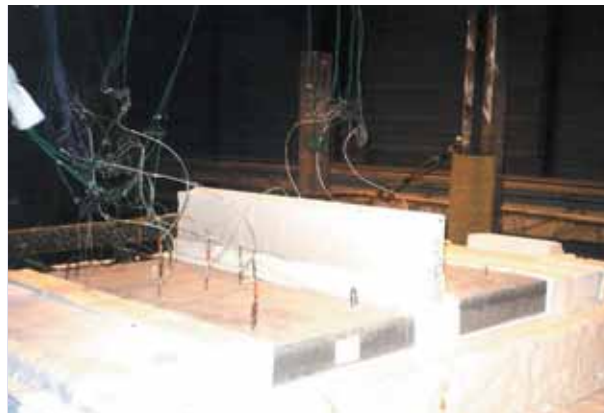
Rémy Gonnet



DIRECTEUR TECHNIQUE
ET COMMERCIAL
Gonnet isolation

Préparation des dalles
pour l'essai 1

Preparation of slabs
for test 1



risque de rebond de produits collants à base de résine ou autres éléments cohésifs,

- une mise en place des plaques à sec et donc pas d'eau polluée devant être traitée sur chantier,
- la possibilité de travailler avec les autres corps de métiers sans risque de polluer les éléments déjà mis en place,
- la rapidité d'application avec la possibilité de maintenir une circulation alternée,
- la possibilité d'appliquer par temps froid ou par forte chaleur sans qu'il y ait d'incidence sur la qualité de la protection feu réalisée;

◆ des performances au feu excellentes :

- la réussite aux essais en four de résistance au feu ; les plaques appliquées dans le tunnel correspondent effectivement à celles qui ont été testées et validées en laboratoire car les épaisseurs sont parfaitement contrôlées ainsi que l'humidité résiduelle du produit mis en place,
- le classement MO et pas de dégagement toxique en cas de feu ;

◆ des avantages vis-à-vis de la pérennité :

- la maîtrise de la qualité du produit mis en place puisqu'il est fabriqué en usine Iso,
- une bonne tenue à l'eau et une insensibilité au développement des moisissures ainsi qu'aux agressions des rongeurs,
- une excellente tenue aux gaz d'échappements (CO et acides) et aux sels de déverglaçage,
- pas de réactions corrosives avec le béton et les structures métalliques,
- les plaques laissent le support respirer ce qui évite la création de poche d'eau ou d'autres effets néfastes comme des décollements,
- l'incidence réduite sur les pertes de charge dans les conduits de ventilation car la surface des plaques est lisse, non granuleuse,
- pas de risque de fissuration car il y a un joint sec (bord de plaque) tous les 1,20 m et il est possible lorsqu'il y a deux éléments bétons de ne fixer la plaque que sur l'un des deux afin d'encaisser les mouvements,
- en cas de détérioration la réparation se fait très rapidement par simple changement de la plaque manquante.

LES ESSAIS DE VALIDATION

Les essais de validation ont été réalisés par le CTICM à Maizières-les-Metz.

Quatre échantillons ont été testés :

◆ dalle 1 (dalle de ventilation : 2,00 x 1,00 x 0,18 m) placée horizontalement : deux plaques de 25 mm sont fixées avec joint sec dans l'axe, à raison de cinq fixations par mètre carré ;

◆ dalle 2 (cloison dans la gaine de ventilation : 2,00 x 1,00 x 0,15 m et un tirant Dywidag noyé) placée horizontalement : deux plaques de 30 mm sont fixées avec joint sec dans l'axe, à raison de cinq fixations par mètre carré ;

◆ dalle 3 (mur en parpaing creux enduit deux faces : 1,50 x 3,00 x 0,15 m + enduit) placée verticalement : trois plaques de 30 mm sont fixées avec joints secs, à raison de cinq fixations par mètre carré (chevilles en acier inox et à expansion) ;

◆ dalle 4 (tôle inox 316 L du carneau : 3,00 x 1,00 x 0,004 m) placée verticalement : deux plaques de 15 mm fixées par vis auto-perforantes à tête fraisée.

Le premier essai en four, réalisé le 15 novembre 2001 concernait les dalles 1 et 2, les surfaces testées ont été positionnées horizontalement dans le four.

Les résultats détaillés de l'essai font l'objet d'un rapport établi par le CTICM :

◆ pour la dalle de ventilation : la température moyenne à l'interface de l'isolant est de 373 °C à 120 minutes, la température moyenne des aciers inférieurs est de 162 °C à 120 minutes, la température moyenne sur la face froide est de 48 °C à 120 minutes ;

◆ pour la cloison de ventilation : la température moyenne à l'interface de l'isolant est de 282 °C à 120 minutes, la température moyenne des suspentes est de 55 °C à 120 minutes, la température moyenne sur la face froide est de 52 °C à 120 minutes.

Le second essai, réalisé le 22 novembre 2001, concernait les dalles 3 et 4, les surfaces testées ont été positionnées verticalement dans le four.

Les résultats détaillés de l'essai font l'objet d'un rapport établi par le CTICM :

◆ pour le mur en parpaing enduit : la température moyenne à l'interface de l'isolant est de 346 °C à 120 minutes, la température moyenne sur la face froide est de 56 °C à 120 minutes ;

◆ pour la tôle inox : la température moyenne à l'interface de l'isolant est de 387 °C à 120 minutes, la température moyenne sur la face froide est de 329 °C à 120 minutes.

LES TRAVAUX

Les travaux ont représenté pour l'entreprise un réel challenge pour deux raisons :

◆ c'était une première en France et le chantier était à réaliser dans un délai de 9 semaines contractuelles ;



Ouvrage terminé avec les protections en plafond
Completed structure with protection on the ceiling

◆ les conditions de réalisation étaient particulières, notamment par le fait de travailler simultanément avec la société Colas qui réalisait le revêtement bitumineux de la chaussée.

Le groupement (GDI - Gonnet Isolation et Dauphiné Isolation) a permis à l'entreprise de disposer des moyens matériels et humains à la mesure de la tâche qui lui était confiée. Elle a affecté à cette opération, en un seul poste de travail, 33 personnes (dont 8 pour l'encadrement) durant toute la période de travaux qui a été réduite à 7 semaines. Le point le plus délicat fut sans aucun doute la coordination avec l'entreprise réalisant le revêtement bitumineux; en effet, durant le mois de janvier, l'entreprise a traité toute la dalle haute sur la moitié nord du tunnel pendant que le revêtement de chaussée se faisait sur la moitié sud, avec le passage d'environ 50 semi-remorques par jour. L'entreprise a pu réaliser cette opération grâce notamment au personnel de la DDE 83, qu'elle tient à remercier pour sa compétence et sa disponibilité.

Un point important mérite également d'être développé, il concerne la phase de préparation des travaux. En effet, dans le but d'optimiser la mise en place des plaques de Promatect, l'entreprise a cherché à limiter au maximum la découpe des plaques dans le tunnel qui aurait engendré des émanations obligatoires de poussières. Elle a effectué un relevé des cotes exactes de la dalle haute tous les 10 m et cela sur les 1 570 m linéaires à traiter, puis a demandé au fournisseur Promat SA des plaques prédécoupées aux cotes relevées. 99 % des coupes ont été effectuées en usine et les plaques étaient livrées en palettes référencées. Ce travail titanesque a permis aux poseurs de savoir que la palette "référence x" devait être mise en place exactement à "l'endroit x". Un joint coupe-feu à ces raccordements assure la performance exigée. La tolérance était de l'ordre de 3 mm (pour 17 000 m²) répartie aux raccordements des piédroits, on peut aisément imaginer la rigueur et la précision dont il a fallu faire preuve lors des études et de la pose, mais aussi lors de la "découpe" par le fournisseur.

Une bonne étude d'exécution a permis de réaliser la performance et de terminer les travaux 2 semaines avant la fin du délai imparti, sans aucun accident du travail.

ABSTRACT

Fire protection surfacing

G. Hamaide, M. Dolizy, R. Gonnet

At the request of the CESTR, so as to obtain two-hour HCM fire resistance for ventilation ducts and some other parts of the structure, passive protection was laid in the tunnel. The company Gonnet was selected to execute this protection, with a technical protection system based on Promatect T panels. This technique, based on prefabricated panels from Promat company, offered interesting advantages and credentials for the first project of this type in a French road tunnel. Tests were performed in furnace to check the performance of the proposed protection, complying with the installation configurations provided for in the contract. The work took place over a period of two months, and required extensive resources and great technical expertise on the part of those involved in the work.

RESUMEN ESPAÑOL

Revestimiento de protección contra incendios

G. Hamaide, M. Dolizy y R. Gonnet

Por requerimiento del CESTR y con objeto de obtener una resistencia al fuego HCM de los conductos de ventilación, así como de otras partes sensibles de la estructura, se ha implantado una protección pasiva en el propio túnel. La empresa constructora Gonnet fue adoptada para la ejecución de esta protección, mediante un sistema de protección técnica por medio de placas Promatect T. Este método, ejecutado por medio de placas prefabricadas de la sociedad Promat, presentaba las ventajas y las referencias interesantes para la primera obra de este género en un túnel vial francés. Se han llevado a cabo pruebas en horno para controlar las prestaciones de protección propuestas, respetando siempre las configuraciones de instalación según las condiciones del contrato. Las obras se han desarrollado durante un periodo de dos meses y han precisado el empleo de medios materiales importantes y un alto grado de tecnicidad por parte de los participantes.

Etude spécifique de

L'étude spécifique de dangers réalisée pour le tunnel de Toulon a été une occasion d'élaborer les bases d'une méthodologie innovante dans le domaine des tunnels routiers, aujourd'hui largement employée et perfectionnée dans le cadre de telles études.

Le tunnel de Toulon a été l'un des premiers ouvrages à faire l'objet d'un dossier de sécurité en vue de son ouverture à la circulation en application de la circulaire n° 2000-63 du 25 août 2000.

L'objet de cette étude, selon les termes de la dite circulaire, était de décrire les accidents, quelle que soit leur origine, susceptibles de se produire en phase d'exploitation ainsi que la nature et l'importance de leurs conséquences éventuelles, cette étude précisant et justifiant les mesures propres à réduire la probabilité que ces accidents surviennent et leurs conséquences. A l'époque, la démarche à suivre pour atteindre cet objectif était balbutiante : nombre des outils et méthodes imaginées pour le tunnel de Toulon ont par la suite été recommandées par le guide méthodologique diffusé par le Cetu, puis reconduites et perfectionnées à l'occasion des ESD ultérieures.

La démarche mise en œuvre s'est appuyée sur le plan, préconisé par la note d'information n° 12 du Cetu sur les ESD, articulé en cinq chapitres :

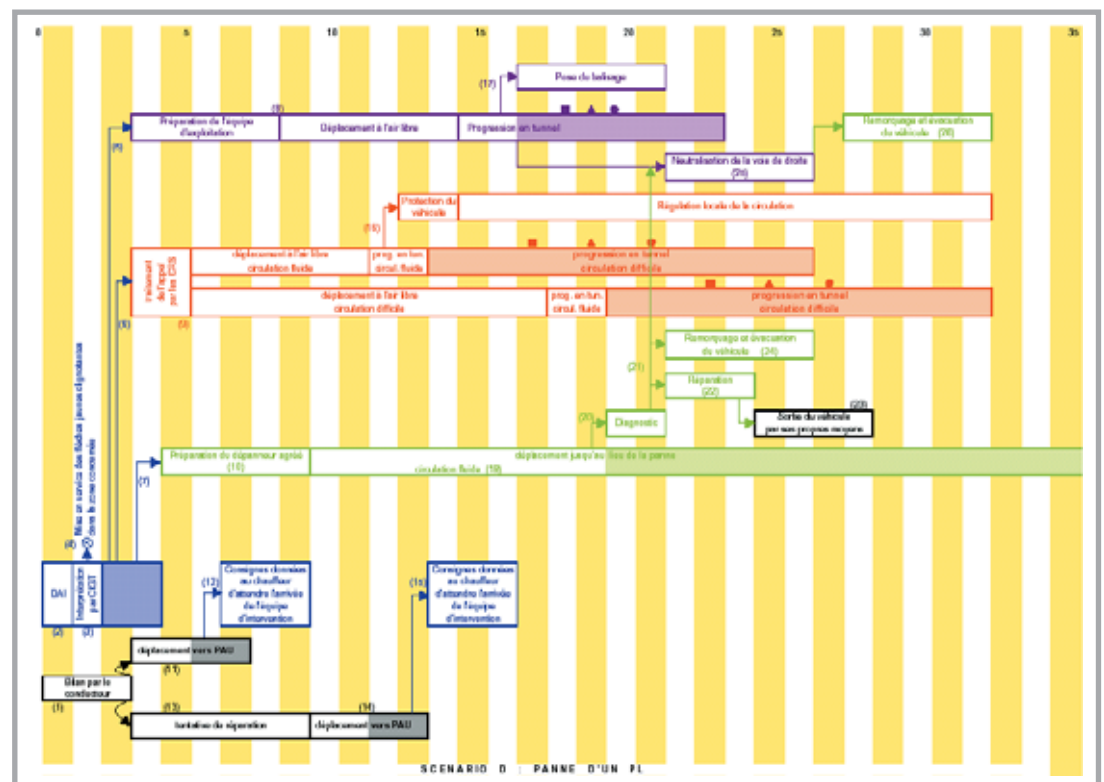
1. Présentation du tunnel et de son environnement. Ce premier chapitre synthétise les informations essentielles (géométrie, équipements, trafic...) nécessaires à la compréhension de l'ESD.

2. Description fonctionnelle. L'approche systémique développée ici permet de mettre en évidence la contribution des moyens (humains et matériels) constituant le système "tunnel" aux fonctions de sécurité qu'il doit assurer. Une étude de fiabilité de la ventilation de désenfumage a été menée pour rechercher les garanties de possibilité de cheminement des secours et d'évacuation des usagers par les gaines de ventilation.

3. Identification des dangers et choix des scénarios d'étude. La caractérisation des risques selon deux grandeurs – gravité et probabilité – permet leur hiérarchisation au moyen d'une matrice de criticité. Un panel de situations critiques, choisies de manière à illustrer différents cas de figure où les secours mis en œuvre différents, est retenu pour faire l'objet d'une étude détaillée au travers de scénarios.

4. Description des scénarios et de leurs conséquences. Pour les situations précitées (panne, accident, incendie suite à un accident...), des circonstances particulières sont choisies afin d'élaborer une description temporelle de l'évolution des conditions physiques régnant en tunnel, des déplacements des usagers et des secours, des communications établies entre les différents acteurs

Figure 1
Diagramme chronologique illustrant un scénario de panne
Chronological chart illustrating a trouble scenario



dangers (ESD)

Johann Lecointre



CONSULTANT,
RESPONSABLE
DU SECTEUR TUNNELS
Ligeron SA

et des commandes des équipements assurées par l'exploitant.

5. Synthèse. L'analyse du déroulement des scénarios permet d'identifier des processus critiques et de proposer des améliorations en matière de sécurité.

Dans les scénarios d'incendie, un modèle unidimensionnel a été utilisé pour caractériser les mouvements de fumées et leur température. Le cheminement des usagers vers les issues a été estimé en tenant compte des conditions d'environnement, en distinguant plusieurs phases : arrêt des véhicules en bouchon, perception du danger, décision de quitter le véhicule, marche sur les trottoirs dans des conditions de visibilité variables, entrée dans les abris, prise en charge par les secours pour gagner l'air libre. Ce principe de modélisation de l'évacuation a par la suite été repris pour développer un code de calcul aujourd'hui largement employé dans de telles études, directement couplé aux simulations d'incendie réalisées préalablement.

L'enchaînement dans le temps des actions entreprises par les différents acteurs des scénarios a été représenté au moyen de diagrammes chronologiques inspirés des diagrammes de Gantt, couramment utilisés en gestion de projet. Les actions sont représentées par des barres horizontales dont la longueur est proportionnelle à leur durée. Elles sont reliées par des flèches représentant leurs

contraintes logiques d'enchaînement. La figure 1 en donne un exemple.

La description des scénarios s'est faite en groupe de travail, auquel ont participé les services de secours et le futur exploitant. Ces diagrammes ont donc ensuite naturellement constitué un outil de travail utile lors de l'élaboration du plan d'intervention et de sécurité et des protocoles d'intervention des sapeurs-pompiers.

L'étude de dangers a notamment permis de poser les conditions dans lesquelles la stratégie d'évacuation des abris centraux en cheminant par les gaines de ventilation est acceptable. Outre la problématique de leur tenue au feu et du risque d'envahissement de ces gaines par les fumées, dont les protections adéquates ont permis de se prémunir, l'étude de dangers a mis en évidence que des mouvements de panique risquaient de se produire si de trop nombreux usagers convergeaient vers les mêmes issues. C'est pourquoi le nombre d'usagers en tunnel a été limité par une interdiction aux véhicules de transport en commun, une gestion du trafic visant à éviter la remontée de bouchon en tunnel (cf. articles sur les conséquences de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc), et l'on a rendu possible, par des commandes d'ouverture de porte et un fléchage adapté, une auto-évacuation des usagers jusqu'à l'air libre dans le cas où il serait impossible d'attendre leur prise en charge par les secours.

ABSTRACT

Specific hazard study

J. Lecointre

The specific hazard study performed for the Toulon tunnel was an opportunity to lay the foundations for an innovative methodology in the area of road tunnels, now employed extensively and perfected within the framework of such studies.

RESUMEN ESPAÑOL

Estudio específico de los peligros (ESD)

J. Lecointre

El estudio específico de los peligros que se ha llevado a cabo para el túnel de Toulon ha sido la ocasión para elaborar los fundamentos de una tecnología innovadora en el aspecto de los túneles viales, actualmente aplicada ampliamente y perfeccionada en el contexto de semejantes estudios.

Organisation des secours Genèse et élaboration de la

L'intervention des secours ne peut souffrir l'improvisation quel que soit le théâtre d'opération, a fortiori en tunnel où les conditions environnementales sont très particulières.

La cinétique des événements et l'évolution des dangers peuvent être très rapides, aussi le professionnalisme doit-il être de rigueur pour la sécurité des usagers et des intervenants. L'élaboration du plan de secours a été réalisée, dans un souci de cohérence et d'efficacité, avec les principaux acteurs que sont les sapeurs-pompiers, les CRS, la Police nationale, le SAMU.

Seul le scénario "incendie" sera abordé dans cet article.

L'intervention représente la phase aboutie du triptyque "prévention-prévision-intervention", concept incontournable de la culture des sapeurs-pompiers.

Nos services ont été associés dès la phase des études dans le cadre d'une commission de sécurité pour le volet "prévention", jusqu'à argumenter devant le comité national d'évaluation. Celui-ci a entériné la plupart des mesures proposées visant la sauvegarde des personnes, en évitant l'éclosion d'un feu et sa propagation.

Ces mesures parfaitement formalisées sont, sur leur fondement et réglementairement, communes à tous les établissements abritant des personnes, elles sont le liant de la circulaire du 25 août 2000.

Les volets "prévision" et "intervention" font l'objet du présent article.

LE CONTEXTE

Le tunnel nord de Toulon est une jonction autoroutière de trois kilomètres entre l'A57 et l'A50, en site urbain. Il est unidirectionnel, à deux voies et peut absorber 30 000 véhicules/jour.

Il est interdit aux matières dangereuses, aux poids lourds de plus de 19 t, aux transports en commun.

LES DISPOSITIFS ET OUVRAGES DE SÉCURITÉ

L'ouvrage dispose :

- ◆ d'abris pour les usagers, reliés à la gaine d'air frais aboutissant aux usines de ventilation ;
- ◆ de sorties reliées par des escaliers directement à la surface ;
- ◆ de niches sécurité et de niches incendie.

L'ouvrage est équipé :

- ◆ d'un revêtement coupe-feu 2 heures pour la protection de la gaine air frais, tronçon compris entre les deux unités de ventilation ;
- ◆ d'un système de ventilation/désenfumage ;
- ◆ d'un éclairage de sécurité ;
- ◆ d'un réseau de radio transmissions (voir plus loin l'article sur les retransmissions radios) ;
- ◆ de poteaux et bouches incendie régulièrement répartis ;
- ◆ d'une voie de 2 m en partie gauche pour la progression des véhicules de secours.

LES CONTRAINTES SPÉCIFIQUES

Un feu en tunnel se caractérise par un dégagement très important de fumées, en principe stratifiées, qu'il convient de contenir et extraire.

La chaleur dégagée est intense, amplifiée par effet de four ; la référence retenue est la Courbe de feu d'hydrocarbures majorée – courbe HCM – correspondant à un feu de marchandises très combustibles.

La température de 1 200 °C peut être atteinte en dix minutes, 1 300 °C vingt minutes plus tard.

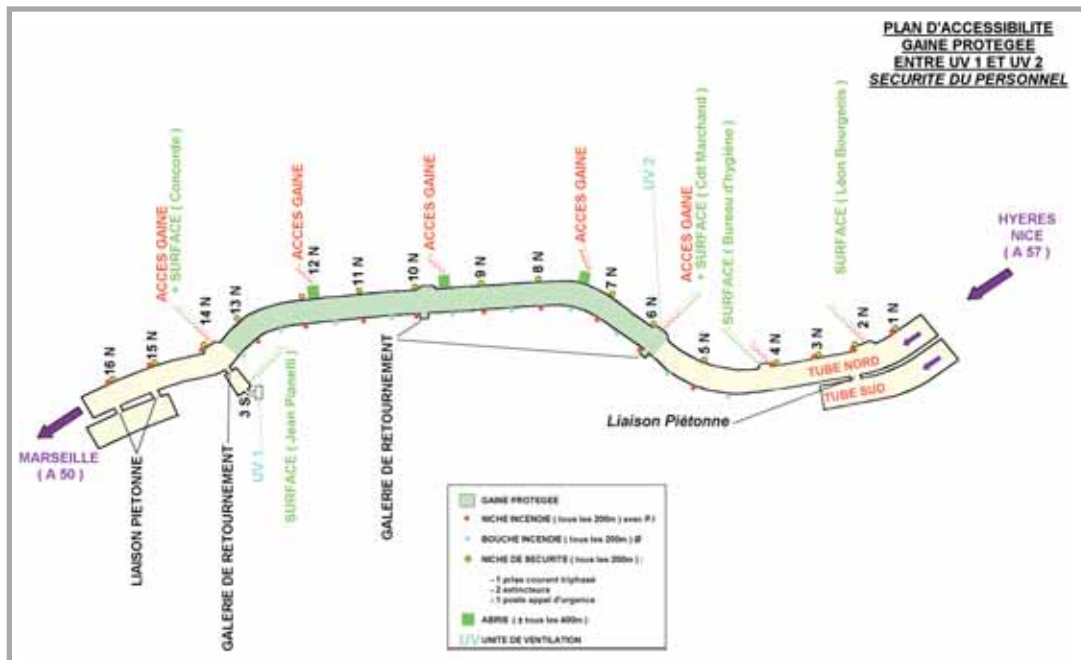
L'action des secours doit donc intervenir dans les toutes premières minutes pour contenir le sinistre. Le délai d'intervention du centre de secours prin-

Simulation incendie
Fire simulation



Plan d'accessibilité gaine protégée entre UV1 (unité de ventilation) et UV2

Accessibility plan of protected duct between UV1 (ventilation unit) and UV2





stratégie d'intervention

cipal de Toulon, pourtant très proche de l'entrée du tunnel, peut être de 10 à 25 minutes considérant le parcours et les aléas de la circulation urbaine de surface.

Par ailleurs, la largeur de la bande de circulation réservée aux secours (2 m) a conduit à la construction d'un engin spécifique, le Véhicule secours tunnel – VST – (cf. article "Le Véhicule de secours en tunnel").

LES PRINCIPES D'INTERVENTION

Le principe de base est l'engagement rapide et massif des véhicules de secours. Ils se distribuent vers les principaux points d'accès au tunnel – tête d'entrée est, usine de ventilation n° 1 (UV1) et usine de ventilation n° 2 (UV2) –.

La progression peut alors débuter avec les engins par la tête d'entrée et avec les équipes à pied depuis chacune des usines de ventilation (UV). Ces dernières s'engagent dans la section de gaine entre UV, protégée en sous-face par le revêtement coupe-feu, pour se diriger vers les trois abris où les usagers peuvent s'être réfugiés. Leur évacuation encadrée peut alors débuter par le cheminement inverse en gaine.

LE SUPPORT RÉGLEMENTAIRE

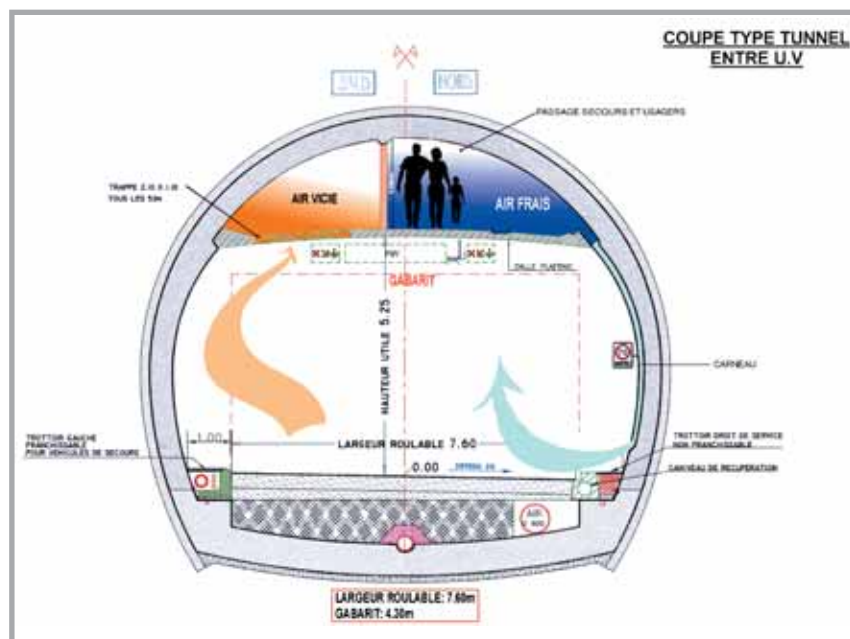
L'ouvrage fait l'objet d'un Plan d'intervention et de sécurité – PIS – propre à l'exploitant.

Dans le prolongement, un Plan de secours spécialisé – PSS – a été établi par le préfet. Ce plan précise la stratégie de réponse à divers événements graves, déclinés en scénarios, dans lesquels sont impliqués tous les acteurs du secours.

Enfin, l'ouverture du tunnel n'a pu intervenir qu'après la réalisation de travaux dont la nécessité est apparue à la suite de trois exercices sur des thèmes de gravité croissante (accident simple avec victimes, feu simple de VL avec victimes, suraccident avec feu impliquant un poids lourd avec victimes). Un exercice annuel réglementaire doit être réalisé.

L'ORGANISATION DES SECOURS

Elle est la réponse opérationnelle à des événements accidentels, dont l'incendie. Les sapeurs-pompiers



Coupe type tunnel entre UV

Typical cross section of tunnel between ventilation units

la formalisent dans un document : le Plan établissement répertorié – Plan ETARE –. Il précise la tactique d'intervention dans un protocole détaillant le "départ-type" en terme d'engins à engager sur une opération.

Le VST est la pièce maîtresse du dispositif, c'est le véhicule sécurisé apte à s'approcher au plus près du feu pour effectuer les premiers sauvetages de personnes et débiter l'extinction.

Il s'engage immédiatement dans le tunnel, quelles que soient les conditions environnementales, grâce à ses équipements.

Il est suivi, après reconnaissance et sur ordre pour des raisons de sécurité, par un deuxième engin d'incendie auquel incombent des missions spécifiques.

Simultanément, plusieurs autres engins de lutte contre l'incendie, véhicules de secours à victimes, véhicules de commandement, véhicules de logistique sont engagés selon les principes énoncés au paragraphe sur les principes d'intervention.

Les missions des équipages sont très clairement explicitées dans des fiches réflexes connues de chacun et testées lors d'exercices effectués les nuits de fermeture du tunnel pour entretien, ainsi que lors de visites ponctuelles de reconnaissance. Le plan ETARE prend la forme d'un dossier incluant les fiches réflexes, le plan de montée en puissance du dispositif, l'ordre d'exploitation des transmissions, les descriptifs et plans des ouvrages et installations de sécurité, l'emplacement du poste de commandement opérationnel, etc.

ORGANISATION DES SECOURS

Le centre d'intervention de Toulon, territorialement compétent, ne pourrait fournir seul, à l'instant "t", l'ensemble des engins nécessaires prévus au plan ETARE.

La permanence des secours sur l'agglomération doit être assurée (55 interventions par jour en moyenne). Aussi, le plan prévoit-il l'appel simultané de véhicules en renfort venant immédiatement compléter le dispositif de secours. Ils sont issus des centres d'intervention voisins de Hyères et La Seyne-sur-Mer notamment.

Une telle opération, comme toute opération d'envergure, se déroulerait sous l'autorité du Codis (Centre opérationnel départemental d'incendie et de secours) du Var.



Exercice d'extinction
Extinguishing exercise

► En temps réel, le commandement des opérations de secours est assuré par un officier de sapeurs-pompiers, le PSS et le plan rouge (plan de secours à nombreuses victimes) sont déclenchés sur décision du préfet.

L'officier de sapeurs-pompiers, rompu par formation et nécessité aux méthodes de gestion opérationnelle et de commandement, organise son opération en sectorisant le "chantier" géographiquement (secteur est, secteur ouest, secteurs amont-aval, secteur tunnel, secteur gaine air frais...) et fonctionnellement (secteur incendie, secteur reconnaissances, secteur sauvetages, secteur désincarcération, secteur transmissions...).

L'improvisation est bannie, elle n'exclut pas, fort heureusement, l'initiative et l'adaptation.

ABSTRACT

Organisation of emergency aid. Origins and development of the emergency response strategy

Y. Pizzocaro

The organisation of emergency aid in the Toulon urban tunnel, 3,300 m long and one-way, requires that all the emergency aid players work out a response strategy in which there is no room for improvisation.

The fire scenario was specially designed in light of the specific hazards faced in tunnels.

The structure, which underwent preliminary studies involving the fire fighters, is equipped with safety devices for use by motorists and emergency workers : shelters, safety recesses, fire recesses, direct exits to the outside, ventilation/smoke control system, safety lighting, radiant antenna transmission system, and fire hydrants.

However, its originality lies in the accessibility of the fresh air duct to users coming from the shelters located in the deepest section, 1,600 metres long, between the two ventilation units.

The emergency response tactic allows for this essential factor, and accordingly the emergency vehicles are brought up, rapidly and massively, to all the points of access to the structure.

This commitment is expressed formally in a document which contains all the information necessary for decision making by the firefighting officer : "fiche réflexe" ready-reference sheets, plans of the structure and installations, control centre organisation chart, etc.

RESUMEN ESPAÑOL

Organización de los socorros. Génesis y elaboración de la estrategia de intervención

Y. Pizzocaro

La organización de los socorros en el túnel urbano de Toulón, de una longitud de 3.300 m y unidireccional, impone a todos los participantes en el socorro elaborar una estrategia de intervención en que la improvisación no tiene lugar. El esquema del incendio ha sido estu-

diado muy detenidamente habida cuenta de los peligros específicos con que se puede tropezar en un túnel.

La estructura, que ha sido objeto de estudios preliminares en que han participado también los bomberos, está dotado de dispositivos de seguridad para uso de automovilistas y de los participantes en los socorros : resguardos, nichos de seguridad, nichos de incendio, salidas directas hacia el exterior, sistema de ventilación y eliminación de los humos, alumbrado de seguridad, dispositivo de transmisión por antena radial, bocas contra incendio.

No obstante, la originalidad reside en la accesibilidad del conducto de aire fresco para los usuarios, que tiene su origen en los resguardos situados en la sección de 1.600 m que es aquella de mayor profundidad, y entre las dos unidades de ventilación.

La técnica de intervención incluye este dato de primordial importancia, motivo por el cual el equipo mecánico de intervención se ha tenido debidamente en cuenta, para actuar rápida e intensivamente en todos los puntos de acceso a la estructura.

Este compromiso se ha formalizado por medio de un documento en que se integran todas las informaciones necesarias para tomar las medidas oportunas por parte del oficial de bomberos : fichas reflejos de misiones, planos de la estructura y de las instalaciones, organigrama de órdenes, etc.



La mission de police en tunnel

Une spécificité pour une CRS autoroutière

Les agents autoroutiers des Compagnies républicaines de sécurité ont une mission bien spécifique en tunnel, intégrée dans l'organisation des secours : une patrouille est affectée en permanence à l'intervention prioritaire dans le tunnel, avec deux motocyclettes ou une voiture break équipée spécialement. Dès l'arrivée sur les lieux, ils doivent, conformément à des fiches réflexes très précises, faire un premier bilan d'urgence et photographier les lieux (aspect judiciaire de l'incendie ou accident), faire évacuer dans le calme les usagers vers les abris, isoler et sécuriser le site pour permettre un éventuel contre-sens des secours à engager et des autres équipages CRS de renfort.

La mission des CRS est bien sûr différente de celles des secours, pompiers et SMURF. Elle doit leur permettre de travailler en toute sécurité en les assistant, tout en traitant l'aspect judiciaire du sinistre ; l'officier de permanence coordonnant l'articulation CRS - Police urbaine (en surface) - Pompiers - SMURF - DDE.

Les Compagnies républicaines de sécurité (CRS) assurent la police et la sécurité des axes autoroutiers urbains et périurbains des grandes agglomérations françaises. Paris Ile-de-France, Lille, Lyon, Metz, Nancy, Strasbourg, Saint-Etienne, Bordeaux, Marseille et Toulon sont ainsi concernées. Les Compagnies Autoroutières des CRS ont des secteurs de compétence linéaire, au même titre que les Commissariats et Gendarmeries dans une autonomie judiciaire, mais celles qui connaissent l'intégration d'un ou plusieurs tunnels ont adapté leur organisation pour répondre aux missions nouvelles découlant de ces prises en charge.

La CRS Autoroutière Provence, compétente sur les départements des Bouches-du-Rhône et du Var, a en charge trois tunnels urbains à Marseille, et son détachement de Toulon assure l'intervention sur la traversée souterraine de cette ville.

■ LA MISSION GÉNÉRALE

Le tunnel de Toulon a été prévu à l'origine pour accepter tous types de véhicules, exceptés les matières dangereuses et certains convois exceptionnels. Des restrictions supplémentaires ont été décidées par le préfet du Var en l'attente du second tube, comme l'interdiction d'emprunt aux poids lourds de plus de 19 tonnes et aux transports en commun. La vitesse a par ailleurs été limitée à 70 km/h. La CRS Autoroutière a donc, comme sur le reste de son secteur, une mission de base de police routière incluant la régulation du trafic et le respect du code de la route, ainsi que tous les aspects de police judiciaire.

Plus particulièrement, au titre de la sécurité des



Contrôle poids lourds

Commercial vehicle check

usagers empruntant l'ouvrage, la CRS Provence doit ainsi contrôler le strict respect de la vitesse prescrite (implantations de radars fixes embarqués, et gestion des deux cabines radars installées dans les garages par la DDE), mais aussi contrôler le flux de poids lourds. La configuration des accès et sorties ne permettant cependant pas de garer ce type de véhicules pour en vérifier les tonnages et matières transportées, une aire a été aménagée par la DDE sur l'autoroute A57, 2 500 m avant l'entrée du tube.

■ LA MISSION SPÉCIFIQUE

La configuration d'un tunnel ne permet pas d'y traiter comme en surface un accident ou incendie, et une parfaite connaissance des lieux est nécessaire à l'intervention, pour la sécurité des personnels de Police comme celles des usagers.

- Pour ce faire les mesures suivantes ont été prises :
- 1 - L'ensemble des personnels CRS du détachement autoroutier de Toulon ont :
 - soit participé aux exercices préparatoires à la mise en service,
 - soit eu une visite guidée en brigades constituées.
 - 2 - Ils ont par ailleurs été dotés individuellement, comme les autres intervenants secours, de plans plastifiés en format de poche réalisés par la DDE à la demande de la commission de sécurité.
 - 3 - Un équipage est dédié en permanence à l'intervention dans l'ouvrage (motocyclistes et/ou véhicule léger (cf. encadré) en fonction des effectifs.

toroutier CRS, ne permettant pas de dégager toutes les patrouilles disponibles à l'instant "t". Dès lors un engagement des personnels de bureaux est prévu en complément la semaine, et un rappel de personnels de nuit ou week-ends est également programmé, cela en complément des renforts immédiatement envoyés par la partie marseillaise de la CRS Autoroutière.

En ce qui concerne l'intervention proprement dite, elle associe l'information permanente du préfet et de la salle d'information de la DDSP (à qui incombent les missions de régulation du trafic détourné en surface, la facilité d'accès des secours et la

Contrôle en tunnel
Check in the tunnel



4 - Une salle de commandement mixte 24/24 CRS/DDE a été réalisée pour une meilleure surveillance et coordination d'intervention entre ces deux services de l'Etat, avec une formation spécifique délivrée aux régulateurs CRS pour une meilleure connaissance des logiciels DDE (PMV, affectations de voies, fermetures, gestion du RAU et de la DAI, ventilation, etc.). Le chef de salle et son adjoint, en étant directement impliqués dans les modifications des PIS et PSS, sont à même de former leurs régulateurs. Ils sont d'ailleurs systématiquement rappelables en cas d'incident majeur dans l'ouvrage.

5 - Un équipement "ARI" est prévu dans le VST Pompiers pour l'OPJ CRS de permanence, en cas de difficultés d'approche, pour les premières constatations de terrain qui seront déterminantes dans l'enquête judiciaire (une formation spécifique est en cours pour tous les officiers et OPJ du détachement).

6 - Une protection arrière systématique des personnels CRS intervenants dans le tube est demandée et assurée par un moyen de la subdivision Autoroutes DDE.

7 - Les effectifs nécessaires au traitement d'un incident majeur en ouvrage souterrain sont importants. Il ne faut pas non plus négliger l'éventualité d'un accident simultané sur le reste du secteur au-

VÉHICULE D'INTERVENTION POLICE : LES CRS INNOVENT EN ÉQUIPANT UN VÉHICULE SPÉCIFIQUE "TUNNEL"

Pour l'ouverture du tunnel de Toulon, la CRS Autoroutière Provence a développé un nouveau concept de véhicule léger de première intervention, en équipant spécifiquement une Renault Nevada de matériels supplémentaires. En effet, les véhicules de "constats" CRS sont traditionnellement des fourgons avec rampe arrière intégrée, équipés en cônes de Lubec grands formats et panneaux destinés aux interventions sur autoroutes. A l'inverse, on trouve là un véhicule léger, et donc de faible encombrement, pouvant aisément accéder au plus près de l'accident en tunnel. Il est équipé, en sus d'un panneau tricolor et de 15 cônes petits modèles, de :

- 2 extincteurs de 9 kg à poudre,
- un pied de biche,
- une cisaille "coupe boulons",
- deux paires de gants "haute température",
- un ciseau/marteau brise-vitres,
- un caisson "chimique", avec combinaisons, masques à gaz.

Un véhicule plus haut, de type Renault Scénic, est en commande pour remplacer cette Nevada. Doté du même équipement, il possèdera en plus une rampe de toit à défilement à leds pour un meilleur balisage.

Comme cela avait été évoqué en commission de sécurité, la mission des agents autoroutiers CRS est donc étendue pour faire face à une situation d'urgence propre à cet environnement, en l'attente d'une prise en charge adéquate par les sapeurs-pompiers de Toulon. (Le même véhicule modifié équipera également en cours d'année l'unité marseillaise de cette CRS, qui a compétence sur trois tunnels urbains).

tenue des issues de secours), au souci permanent de concilier mission de secours et mission judiciaire, sans oublier la prise en charge des usagers bloqués dans le tunnel.

■ SÉCURITÉ VIGIPIRATE

La CRS Autoroutière, en tant que composante de la Police nationale, se doit de veiller sur un tel ouvrage dont l'importance et la sensibilité peuvent attirer des actes de malveillance en période troublée. A ce titre, en période d'activation du plan Vigipirate, la surveillance permanente par DAI permettant de déceler sans délai tout arrêt de véhicule dans le tunnel, l'équipage CRS d'intervention est tenu de se porter sur toute anomalie signalée, et même si le véhicule est reparti du garage, une inspection visuelle des abords (niche ou abri compris) est imposée.

■ LEXIQUE

- CRS : Compagnies républicaines de sécurité
- PMV : Panneau à messages variables
- RAU : Réseau d'appel d'urgence
- DAI : Détection automatique d'Incidents
- PIS : Plan d'intervention et de sécurité
- PSS : Plan de secours spécialisé
- ARI : Appareil respiratoire individuel
- OPJ : Officier de police judiciaire
- DDSP : Direction départementale de la sécurité publique
- SMURF : Service mobile d'urgence et de réanimation.

ABSTRACT

The role of the police in tunnels. A special role for "CRS" state security police

J.-L. César

The motorway officers of the "CRS" state security police have a very specific role in tunnels, forming part of the organisation of emergency aid : a patrol is assigned permanently to priority response in the tunnel, with two motorcycles or a specially equipped estate car. As soon as they arrive on the spot, they must, in accordance with very precise "fiche réflexe" ready-reference sheets, make an initial emergency review and photograph the location (legal aspect of the fire or accident), have the users evacuated calmly to the shelters, isolate and secure the site to allow emergency vehicles to possibly travel against the flow of traffic, as also for the other backup "CRS" police teams. The role of the "CRS" police is of course different from the roles of the emergency workers, fire fighters and "SMURF" emergency medical services. It must enable them to work in complete safety by assisting them, while dealing with the legal aspect of the disaster ; the officer on standby duty coordinating liaison between the "CRS" state security police, the urban police (on the surface), fire fighters, "SMURF" medical staff and equipment authority "DDE".

RESUMEN ESPAÑOL

Misión de policía en el túnel. Carácter específico impartido a una CRS de autopistas

J.-L. César

Los agentes que operan en autopistas de las Compañías Republicanas de Seguridad (CRS) tienen una misión específica al tratarse de un túnel, que se integra en la organización de los socorros : una patrulla se encuentra asignada de forma permanente a la intervención prioritaria en el túnel, y está compuesta por dos motociclistas y un automóvil break especialmente equipado. A su llegada a los puntos de intervención, y de conformidad con las fichas de reflejos sumamente precisas, proceden a establecer un balance preliminar de urgencia y fotografiar los puntos de

incendio (aspecto jurídico del incendio o del accidente), proceden a la evacuación hacia los puntos de resguardo sin alarmar a los usuarios, aislan y ponen el emplazamiento en condiciones de seguridad para permitir una posible circulación en contrasentido de los socorros a efectuar y de los demás equipos CRS de refuerzo. La misión de las CRS es, naturalmente, bastante diferente de aquella de los socorros, bomberos y SMURF. La patrulla que interviene debe permitir trabajar con toda seguridad a los demás participantes, prestándoles asistencia, y siempre teniendo en cuenta el aspecto judicial del siniestro : y todo ello, estando en manos del oficial de permanencia que habrá de coordinar la articulación CRS - Policía urbana (en la superficie) - Bomberos. SMURF - DDE.

La gestion technique

La GTC du tunnel assure la gestion en temps réel et en temps différé des équipements du tunnel. Des automates industriels répartis sur différents sites assurent la gestion des équipements du tunnel de façon autonome, en liaison avec des superviseurs portables et fixes sur le site. Les études de sûreté de fonctionnement ont conduit à réaliser un système à disponibilité augmentée par la mise en œuvre de structures redondantes basées sur des automates à haute disponibilité et une architecture réseau hiérarchisée sur trois niveaux bases sur une topologie en anneau optique : au niveau du terrain pour chaque équipement, des sites techniques pour la supervision et de la communication avec le PC de commandement.

La supervision permet une reprise en main locale en cas de panne du système d'exploitation du poste de commandement depuis n'importe quel point du réseau. Elle assure des fonctions d'auto-diagnostic réseaux et équipements, la gestion de la maintenance préventive et des consommations d'énergie.

■ OBJECTIFS

La GTC du tunnel s'inscrit dans le cadre d'un projet global regroupant la gestion de l'ensemble des équipements du réseau autoroutier A57/A570 notamment pour la gestion des équipements de surveillance du trafic routier.

La GTC du tunnel est le système qui centralise les informations liées aux équipements électromécaniques du tunnel, ainsi qu'aux stations de pompage. Elle a pour objectif :

- ◆ de gérer en temps réel ces informations par la mise en œuvre d'automatismes, de commandes manuelles distantes et de surveillance d'alarmes et de défauts ;
- ◆ de gérer en temps différé ces informations pour faciliter l'exploitation par la mise à disposition d'informations et statistiques de fonctionnement ;
- ◆ de transmettre des informations sur l'état des divers équipements vers le CIGT intégrant le poste de commandement de La Garde situé en bordure d'autoroute A570 à 7 km du tunnel.

■ CONCEPTION ÉTUDES

Le niveau automatisme du système GTC a été réparti géographiquement au plus près des équipements à contrôler : notamment les deux unités de ventilation UV1, UV2, le poste électrique Gassendi...

Plusieurs automates programmables industriels contrôlent et commandent de façon autonome les équipements du tunnel. Les modules logiciels ont été répartis en plusieurs grandes familles dotées de fonctions spécifiques : alimentation électrique, ventilation et désenfumage, éclairage, exploitation et sécurité, système de GTC, stations de pompage.

Le niveau supervision du système GTC est doublé : un poste dit "de secours et de maintenance" et un autre poste dit "d'exploitation normale" qui est intégré dans le système central de gestion du CIGT de La Garde.

Les études de sûreté de fonctionnement de la GTC du tunnel ont conduit à réaliser un système à disponibilité augmentée pour toutes les fonctions temps réel qui sont vitales au contrôle-commande des équipements sécurisant le tunnel. Cette recherche de disponibilité du système s'est traduite par la mise en œuvre d'une structure redondante des principaux éléments (automates, réseaux, coupleur optique). La bonne maintenabilité a été ob-

tenue par la mise en œuvre des structures modulaires permettant des échanges rapides et par l'élaboration d'informations de diagnostic du système pertinentes.

■ LES CHOIX TECHNIQUES

Les échanges d'informations

Elles ont été hiérarchisées en trois niveaux :

- ◆ le réseau terrain chargé de collecter et de distribuer les entrées et les sorties du système. Ces réseaux de "terrain tunnel" parcourent tous les ouvrages de sécurité en tunnel (niches, issues de secours, abris piétons) et les stations de pompage ;
- ◆ le réseau de coordination qui a pour mission d'orchestrer indépendamment du niveau supervision les automatismes répartis dans les automates localisés des trois sites techniques du tunnel (unités de ventilation 1 et 2, poste Gassendi) ;
- ◆ le réseau de communication entre l'automate frontal du tunnel et le niveau supervision générale du CIGT.

La sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement a été obtenue :

- ◆ par une topologie en anneau optique pour les réseaux de terrain et de coordination inter-automates ;
- ◆ par l'intermédiaire de réseaux optiques à deux voies (normale et secours) pour l'artère de communication entre le PC et le tunnel ;
- ◆ par l'intermédiaire d'automates à haute disponibilité avec deux unités centrales redondantes ayant chacune un point de connexion réseau par coupleur optique ;
- ◆ par l'intermédiaire d'entrées-sorties déportées connectées sur les réseaux de terrain par un double attachement sur les coupleurs optiques ;
- ◆ par la mise en place de cheminements séparés des réseaux propres à chaque mode de communication normal ou secours ; soit en tunnel sous trottoir, soit en galerie de ventilation pour les réseaux en tunnel (figure 1).

Les postes de supervision et de maintenance ont été répartis

La supervision de secours et la maintenance sont assurées par un ensemble de poste de travail : deux postes fixes au CIGT et au poste Gassendi et

centralisée du tunnel

Sylvain Mongeot



RESPONSABLE
DU PROJET "GESTION
TECHNIQUE
CENTRALISÉE
DU TUNNEL"
Groupe Clemessy

Michel Janin



RESPONSABLE
DES PROJETS
"COURANTS FORTS"
Centre d'études des tunnels
(CETU)

deux postes portables. Ces différents niveaux assurent graduellement les fonctions de supervisions et de maintenance permettant en cas de panne du système d'exploitation central de reprendre le pilotage des équipements du tunnel à tout moment et ce depuis n'importe quel point du réseau inter-automate.

L'analyse des défauts retransmis permet en fonction de leur gravité de prendre les mesures nécessaires tant au niveau de la maintenance qu'au niveau de l'exploitation.

Les diagnostics des composants de l'architecture réseau permettent de renseigner l'exploitant des dysfonctionnements éventuels sur les différents réseaux ainsi qu'au niveau de chaque automate et unité d'entrées-sorties déportées en tunnel. Les matériels utilisés permettant un remplacement rapide sans arrêt de fonctionnement par débrogage direct sous tension et reconfiguration automatique en fin d'intervention.

La gestion de la maintenance préventive est facilitée par l'élaboration des temps de fonctionnement des différents équipements d'éclairage de ventilation et de pompage.

La gestion de l'énergie grâce aux apports de la GTC permet à l'exploitant de suivre et d'agir sur les consommations d'énergie totale par site et celles relatives aux fonctionnements des différents régimes (éclairage, ventilation, pompage).

■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

La réalisation des travaux de gestion technique centralisée s'est effectuée dans le courant de l'année 2002 et a fait l'objet de la passation d'un marché de travaux avec la société Clemessy, sur la base de matériels Siemens comprenant l'ensemble des études d'exécution et la mise en œuvre du système de GTC des équipements électromécaniques du tunnel.

Clemessy pour conduire sa mission d'interface s'est assurée de la collaboration des sociétés titulaires des marchés Courants forts (Spie), Ventilation (Howden) et Equipements trafic et supervision (ETDE-Stéria).

Quelques chiffres :

◆ quatre automates à haute disponibilité, 30 cou-

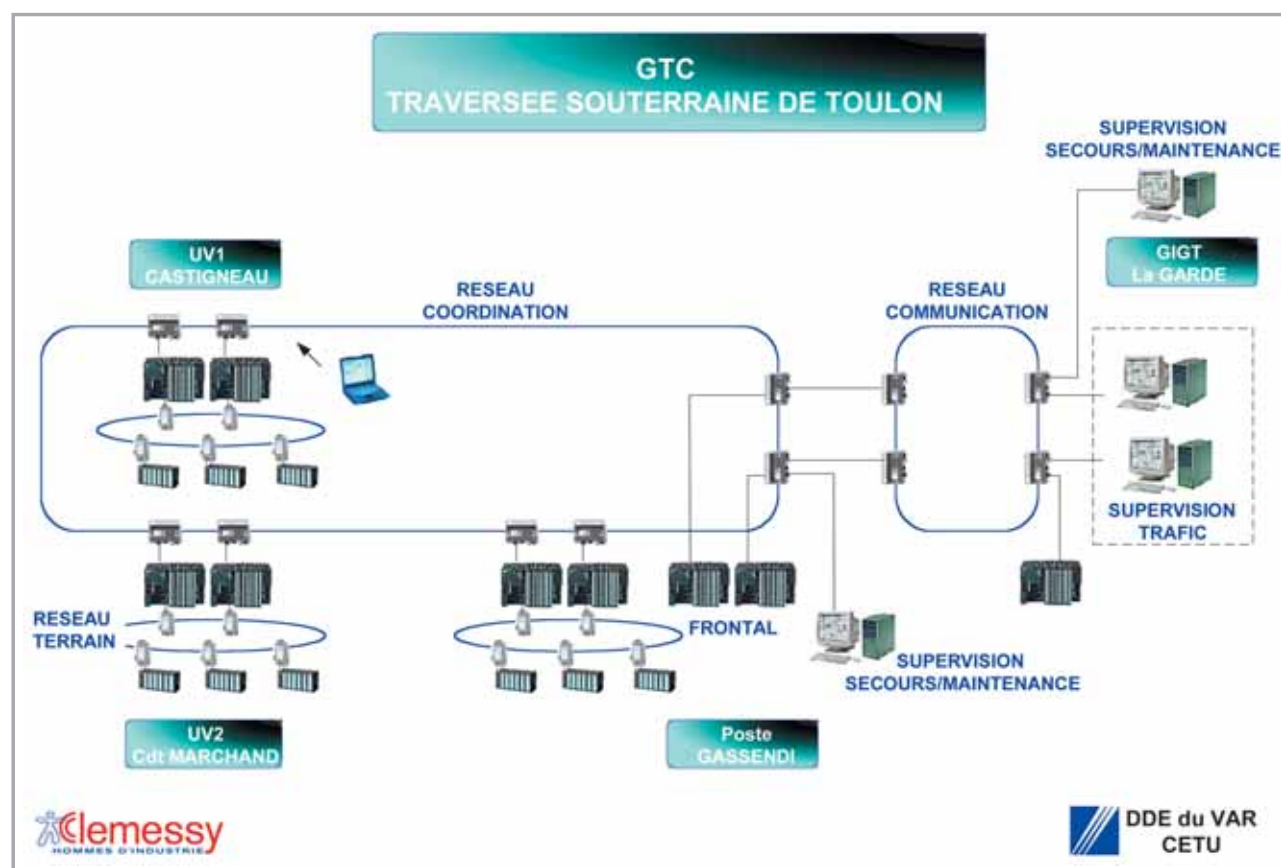


Figure 1
Schéma de l'architecture
GTC (gestion
technique centralisée)
*Diagram of the BMS
architecture (Building
Management System)*

► pleurs optiques, 20 unités entrées sorties déportées. Six réseaux de terrain de type profibus DP en anneaux optiques, un réseau inter-automate ethernet à 100 Mbits en anneaux optiques, soit 10000 m de fibre optique.

◆ une supervision traitant plus de 5 000 informations dont 50 % d'alarmes.

ABSTRACT

Building Management System (BMS) for the tunnel

S. Mongeot, M. Janin

The BMS for the tunnel performs real-time and off-line management of the tunnel equipment. Industrial programmable controllers distributed over various sites perform management of the tunnel equipment autonomously, in conjunction with portable and fixed supervisors on site. Operating dependability studies led to the implementation of a system whose availability is increased by the use of redundant structures based on programmable controllers with a high level of availability and a network architecture hierarchically organised on three levels based on an optical ring topology : at the field level for each equipment item, and at the technical site level for supervision and communication with the control centre.

In the event of failure of the control centre's operating system, supervision allows control to be taken over locally from any point of the network. It performs functions of network and equipment self-diagnosis, and management of preventive maintenance and energy consumption.

RESUMEN ESPAÑOL

La gestión técnica centralizada (GTC) del túnel

S. Mongeot y M. Janin

La GTC del túnel asume la gestión en tiempo real y en tiempo diferido de los equipos e instalaciones del túnel. Los autómatas industriales distribuidos en diversas ubicaciones, permiten la gestión de los equipos del túnel de forma autónoma, en enlace con los supervisores portátiles y fijos del emplazamiento.

Los estudios de seguridad de funcionamiento han dado lugar a la ejecución de un sistema de disponibilidad mediante la implementación de estructuras redundantes fundadas en autómatas de elevada disponibilidad y una arquitectura de red jerarquizada en tres niveles fundados en una topología de anillo óptico : al nivel del terreno para cada equipo, de los emplazamientos técnicos para la supervisión y la comunicación con

el puesto de mando correspondiente. La supervisión permite un control local en caso de avería del sistema de operación del puesto de mando, desde cualquier punto de la red. De este modo, asume las funciones de autodiagnóstico de las redes y equipos, la gestión del mantenimiento preventivo y de los consumos de energía.

La supervision du trafic

L'opération de la traversée souterraine de Toulon a permis d'établir une continuité autoroutière entre l'est et l'ouest de l'agglomération Toulonnaise.

La DDE du Var a identifié comme stratégiques les moyens à mettre en place pour assurer la gestion du trafic sur la zone considérée, ceci afin d'optimiser le service que peut procurer cette infrastructure.

Une démarche ambitieuse de définition puis de conception du système de supervision du trafic a ainsi été engagée.

Cette démarche a permis à la DDE du Var :

- d'opter pour une intégration organisationnelle et technique des fonctions de supervision du trafic sur l'ensemble des autoroutes de l'agglomération, ainsi que des fonctions de surveillance sécurité, de gestion technique et de gestion du trafic du tunnel ;
- de définir en conséquence besoins et exigences adaptées d'un système d'aide à l'exploitation taillé sur le périmètre défini ci-dessus ;
- de concevoir un système d'aide à l'exploitation sur une architecture technique en phase avec ces besoins et exigences, architecture dite fédérée et ouverte.

■ CONTEXTE GÉNÉRAL

L'agglomération de Toulon est desservie par les barreaux autoroutiers A50 à l'ouest vers l'agglomération marseillaise, et A57 à l'est vers l'agglomération niçoise.

Bien que l'itinéraire de transit autoroutier normal entre le pôle marseillais et le pôle niçois, et plus généralement sur le trafic Italie-Espagne, transite en temps normal majoritairement sur l'autoroute A8 au "large" de Toulon, il est apparu que le trafic entre l'est et l'ouest de l'agglomération toulonnaise était considérable.

En effet, une partie importante de ce trafic n'est pas liée au transit mais aux déplacements locaux (notamment pendulaires du matin et du soir).

De plus, le trajet par Toulon servant de délestage de l'itinéraire A8, l'agglomération toulonnaise voit tout de même passer un trafic de transit est-ouest important, lors des périodes de migrations estivales notamment, et en cas d'incidents sur l'autoroute A8.

Or, la configuration géographique est telle que les véhicules ne pouvaient, jusqu'à la mise en service du tunnel, que s'engouffrer dans la ville avec toutes les nuisances que l'on imagine.

La finalité de l'opération "traversée souterraine de Toulon" a été d'améliorer ce point en établissant la continuité autoroutière est-ouest. Dans une première phase, cette liaison a été établie dans le sens est-ouest.

Aussi, et bien que l'opération consiste à construire un ouvrage d'infrastructure, il convenait de ne pas perdre de vue l'objectif final de gestion du trafic et d'y apporter tout le soin nécessaire.

Consciente de l'importance de l'enjeu, la DDE a mis en place une équipe de maîtrise d'œuvre particulière composée de spécialistes de la cellule départementale d'exploitation et de sécurité et de la société Setec ITS.

■ OUVRAGE SOUTERRAIN, MAILLON DE LA CONTINUITÉ AUTOROUTIÈRE

S'agissant d'une opération de construction d'ouvrage souterrain localisé géographiquement, le principal écueil aurait consisté à le considérer dans ce strict périmètre géographique. Cela aurait conduit à définir une organisation humaine et des moyens, tant en locaux qu'en systèmes, focalisés sur les 3 000 m de section souterraine et les problèmes de sécurité associés.

Du point de vue de la gestion du trafic, les besoins apparaissent plus larges. En effet, la traversée souterraine de Toulon s'insère dans un réseau autoroutier qui, du point de vue des usagers, est continu :
◆ pour les automobilistes de l'agglomération, le souterrain est une partie intégrée aux sections autoroutières non concédées exploitées par la DDE au voisinage de l'agglomération (environ 18 km de

Philippe Barlier

DIRECTEUR GÉNÉRAL
Setec ITS



Eric Pérard

RESPONSABLE
DU DÉPARTEMENT
RECHERCHE
ET SYSTÈMES
Setec ITS



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
DDE du Var

Maître d'œuvre
DDE du Var

Assistant technique du maître d'œuvre
Setec ITS

Réalisateur
Groupement ETDE Sud-Est - Stéria

Photo 1
Centre d'ingénierie
et de gestion du trafic

*Traffic engineering
and control centre*



© DDE du Var

Photo 2
Dispositifs
de signalisation
dynamique à l'entrée
Est du tunnel

*Dynamic signing
devices at the eastern
entrance to the tunnel*



© DDE du Var



voies) et en connexion avec les voiries urbaines ;
◆ pour les usagers en transit, le souterrain est une partie du réseau autoroutier de liaison intégré aux sections concédées voisines exploitées par Escota ;
◆ pour les exploitants du trafic, la continuité des réseaux vide de sens toute approche à l'échelle du strict périmètre du tunnel.

Cette analyse a conduit à retenir les principes suivants :

◆ la gestion du trafic du tunnel et des voies rapides de l'agglomération doivent être prises en charge comme un tout ;

◆ la gestion du trafic de cet ensemble nécessite des moyens de coordination technique opérationnelle efficaces avec les exploitants des réseaux connexes (réseaux Escota, réseaux urbains ville de Toulon principalement).

■ GESTION TECHNIQUE CENTRALISÉE, UN COMPOSANT MAJEUR DE LA VIABILITÉ DU TUNNEL

Sur un autre plan, il apparaît que les notions de sécurité, de gestion technique et de gestion du trafic d'une section souterraine sont très fortement in-

terdépendantes. Ainsi, la surveillance et les actions liées à la sécurité des usagers passent par des informations associées à la circulation (détection d'incident, pollution) et des actions sur celle-ci (fermeture de tunnel, information aux usagers). De même, l'état de fonctionnement des systèmes techniques (ventilation, éclairage,...) conditionne la sécurité donc la viabilité du tunnel.

Aussi, il est apparu opportun de regrouper au niveau de l'exploitant DDE les fonctions touchant à la surveillance en matière de sécurité du tunnel, celles relatives à la gestion technique centralisée et celles afférentes au trafic. De façon opérationnelle, cette mission est assurée par un agent de la DDE (régulateur DDE) sur un poste 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, localisé dans le Centre de gestion et d'ingénierie du trafic (CIGT) de La Garde à environ 7 km du tunnel (photo 1). Il fait appel en cas de besoin aux équipes d'exploitation, de maintenance et d'entretien.

■ SYSTÈMES MIS EN ŒUVRE

Les contours organisationnels et les objectifs fondamentaux étant posés, la conception de systèmes techniques en charge de présenter les informations utiles à l'exploitant et de lui donner les moyens d'actions nécessaires a permis de dégager les besoins suivants :

◆ réseau d'appel d'urgence en tunnel, en refuges et sur le réseau non concédé ;

◆ stations de recueil de données de trafic par boucles en tunnel et sur le réseau non concédé ;

◆ caméras de vidéo surveillance en tunnel, à ses abords, en refuges et sur le réseau non concédé, y compris dispositifs de détection automatique d'incident (DAI) par analyse d'image ;

◆ signalisation dynamique en tunnel et sur le réseau non concédé, composée de :

- panneaux à messages variables alphanumériques,

- signaux d'affectation des voies,

- feux et signaux de police lumineux,

- panneaux directionnels à prisme,

- dispositifs de fermeture physique à distance (biseaux de rabattement automatique) (photo 2) ;

◆ réseaux de transmission sécurisés sur fibres optiques desservant équipements de terrain, centre d'exploitation (CIGT) et salle opérationnelle DDE (ensemble de la voirie autoroutière non concédé couverte) ;

◆ système informatique central d'acquisition de contrôle-commande et d'aide à l'exploitation (photo 3).

Concernant plus particulièrement le système informatique central, il assure les fonctions suivantes :

◆ surveillance centralisée de l'état technique des équipements de trafic et de tunnel ;

◆ pilotage des équipements de tunnel (ventilation, éclairage,...) ;

- ◆ recueil et traitement centralisé des données de trafic avec élaboration d'indicateurs de services ;
- ◆ détection, caractérisation et suivi automatique de bouchons sur la base des indicateurs de services précédents ;
- ◆ pilotage des caméras et d'affectation images-écrans ;
- ◆ pilotage des communications sur réseau d'appel d'urgence ;
- ◆ pilotage de la signalisation dynamique ;
- ◆ gestion des événements par un mécanisme de main courante informatique collectant et gérant les événements automatiquement captés par les systèmes, comme ceux issus d'une observation humaine et saisis par le régulateur DDE ;
- ◆ gestion de scénarios d'action et d'automatismes dits réflexes ;
- ◆ aide à la décision permettant en fonction d'événements ou d'états d'une part, d'opérations logiques et de sélections d'actions d'autre part, de proposer au régulateur DDE ou d'enclencher inconditionnellement des actions d'exploitations. Les règles applicables sont configurables par un exploitant au travers d'un éditeur orienté métier. Par exemple, il est possible de créer une règle du type : "Si incident DAI détecté au PR (point repère) xx de l'axe yy, sens ww alors afficher " incident à z km" sur les trois PMV précédents le PRxx et envoyer un mail descriptif aux destinataires concernés par les incidents DAI au PRxx";
- ◆ échanges automatisés de mails et de fax avec les partenaires d'exploitation ;
- ◆ échanges informatisés d'événements et de données avec les partenaires d'exploitation ;
- ◆ gestion en temps différé des informations enregistrés (statistiques, enregistrements vidéo, ...).

■ CHOIX CONCEPTUEL FONDAMENTAL D'ARCHITECTURE TECHNIQUE

L'optimisation (et même la faisabilité) du travail du régulateur DDE, ainsi que la pérennité du système, ont conduit à concevoir une architecture du système de supervision dite de type fédéré, par opposition à des architectures de type juxtaposé ou intégré (figure 1).

En effet, une architecture de type juxtaposée peut se définir comme la juxtaposition de sous-systèmes autonomes mis en relation 2 à 2 au gré des besoins. Ce type d'architecture présente des inconvénients rédhibitoires et a été écarté pour les raisons suivantes :

- ◆ les postes opérateurs sont affectés à chaque sous-système, ce qui est ingérable en terme d'encombrement et d'ergonomie comme en terme d'adjonction de nouveaux sous-systèmes ;
- ◆ le développement des interfaces entre sous-systèmes est réalisé au cas par cas, ce qui génère



Photo 3
Système d'aide à l'exploitation
Operating aid system

Figure 1
Architectures types
Typical architectures

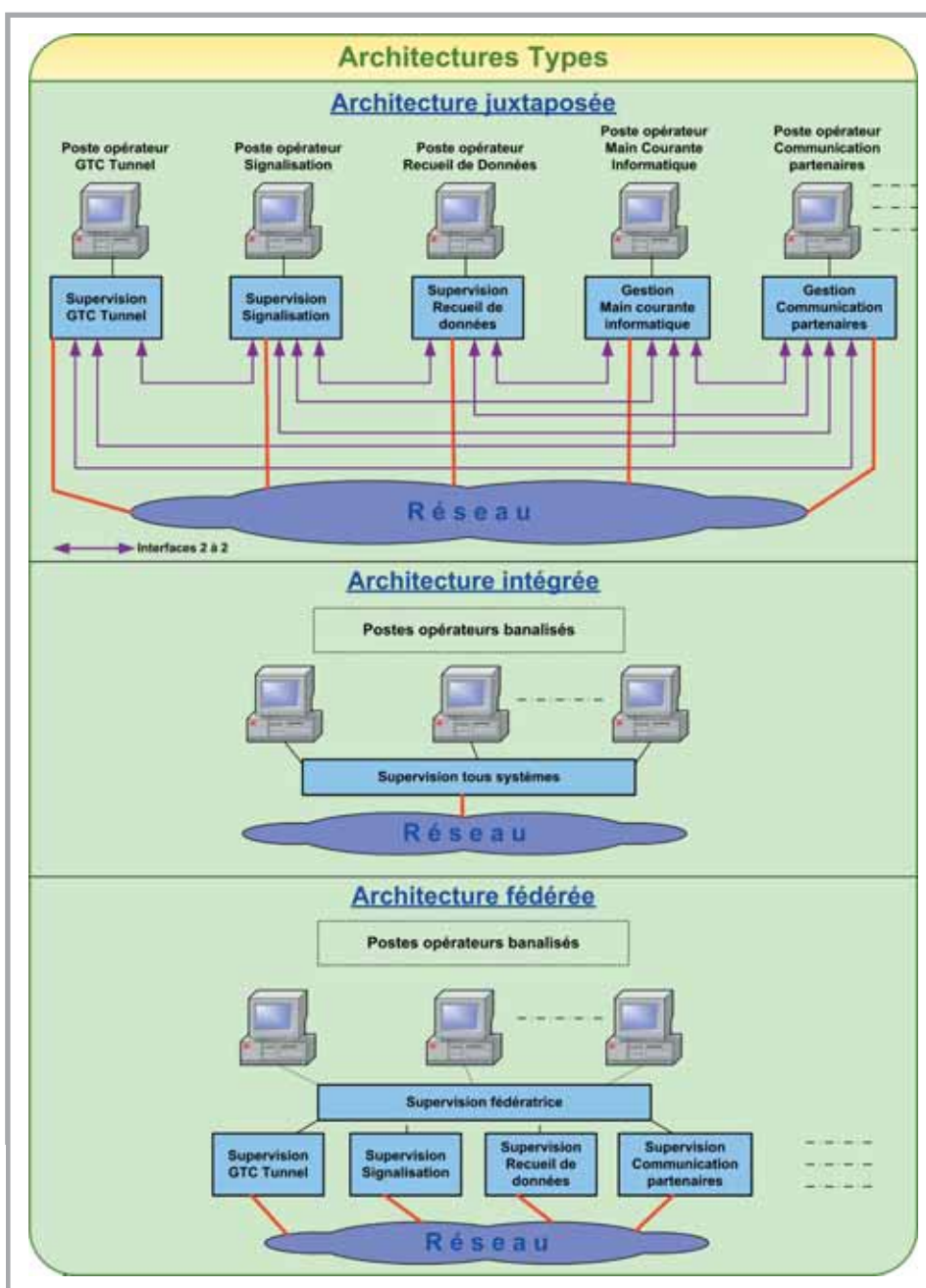
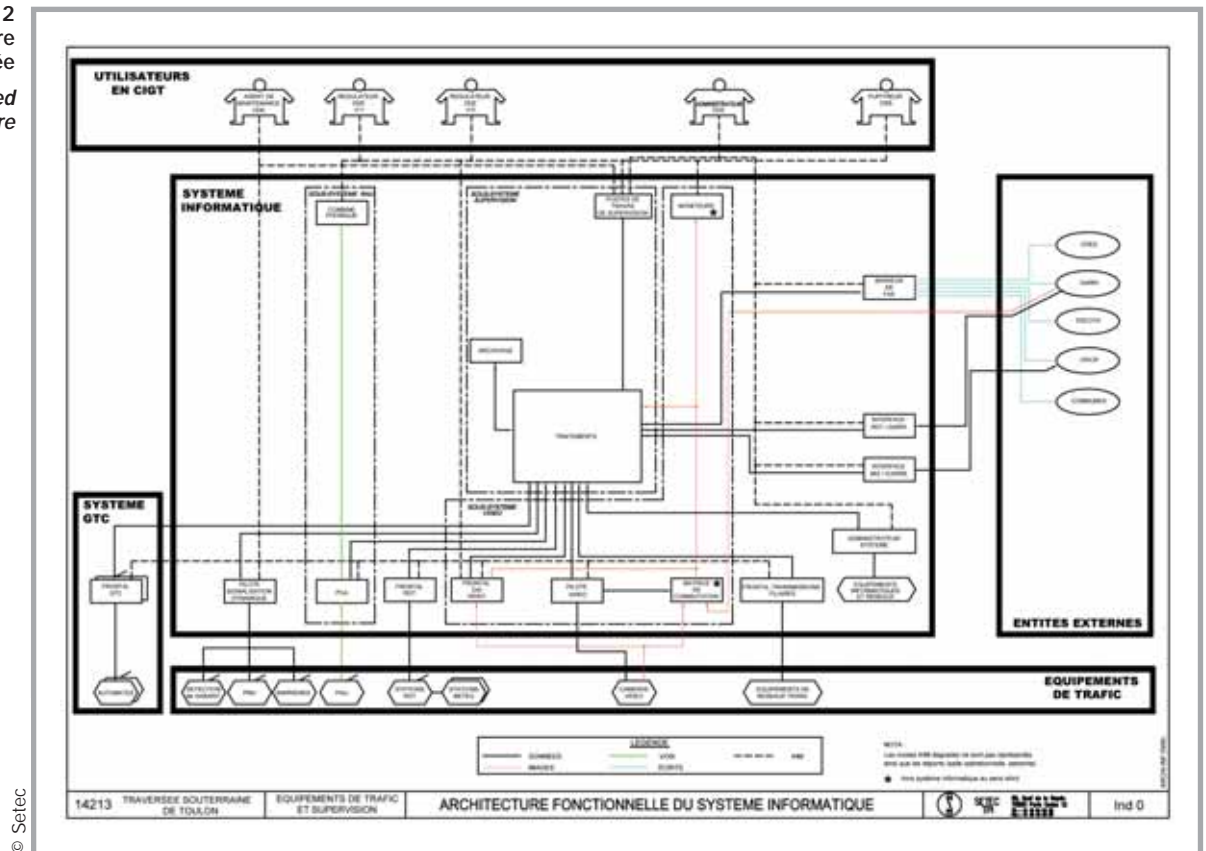


Figure 2
Architecture
appliquée
Applied
architecture



© Setec

► une absence pratique d'évolutivité et de grandes difficultés de maintenance.

L'architecture de type intégrée est définie quant à elle comme un système unique de supervision qui assure alors l'ensemble des fonctions nécessaires de façon complètement intégrée d'un point de vue matériel comme logiciel. Les avantages de cette architecture vis-à-vis d'un système de type juxtaposé sont les suivants :

- ◆ interface homme-machine intégrée homogène et adaptable aux changements d'organisation du fait de la banalisation des postes ;
- ◆ aptitude à intégrer les fonctions transversales (inter-systèmes) de façon rationnelle, maîtrisée et pérenne. Cette disposition permet de traiter de façon souple et systématique certains automatismes, asservissements, stratégies multi-équipements, synthèses entre systèmes,...
- ◆ augmentation des possibilités de redondance par mutualisation des moyens centraux.

Cependant, d'une part cette architecture constitue un absolu qui est en pratique économiquement inatteignable, d'autre part l'évolutivité de ce type de système ne peut s'envisager que globalement, ce qui est un frein certain.

L'architecture de type fédérée s'articule pour sa part sur des sous-systèmes autonomes assurant la centralisation et le traitement des données propres à chaque sous-système et une supervision fédératrice qui assure l'ensemble des fonctions transversales. Cette architecture reprend tous les

avantages de l'architecture intégrée avec les avantages supplémentaires suivants :

- ◆ évolutivité modulaire, sous-système par sous-système, globalement, la modularité de cette architecture constitue le gage de son ouverture ;
- ◆ possibilité naturelle de gestion de modes de

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Durée entre conception et mise en service : 3 ans
- Durée de réalisation : 2 ans
- Montant de cette part de l'opération : entre 4 et 5 M€ HT
- Longueur d'autoroute supervisée : environ 18 km dont la traversée souterraine de Toulon
- Nombre d'équipements :
 - 35 postes d'appel d'urgence
 - 17 stations de recueil de données de trafic
 - 65 caméras vidéo
 - 20 panneaux à messages variables
 - 50 signaux d'affectations des voies sur 20 rampes
 - 30 signaux et feux de police dynamiques
 - 6 panneaux directionnels à prismes
 - 2 systèmes de biseaux de rabattement automatiques
 - réseau SDH 3 nœuds sur 12 km
 - une dizaine de postes de travail banalisés

gradés au niveau des sous-systèmes en autonomie de la supervision fédératrice ;

◆ modularité favorable aux mises en service et évolutions progressives et sous exploitation.

En pratique, l'architecture ainsi conçue est présentée sur la figure 2.

■ CONCLUSION

Le système ainsi défini et conçu a été réalisé en 2001-2002 dans le cadre d'un marché comportant les équipements de trafic et la supervision fédératrice.

Le système a fait l'objet de tests sur plate-forme dans les locaux du réalisateur et a été mis en service partiellement sur les voies rapides non concédées avant l'ouverture à la circulation de la traversée souterraine de Toulon. La mise en service de la traversée de Toulon s'est faite avec le système complètement en place.

Après une période de déverminage et de réglages inhérents à ce type de système, la supervision fédératrice assure aujourd'hui le service attendu et permet une gestion de trafic cohérente sur le réseau autoroutier toulonnais, traversée souterraine incluse.

Signalons enfin que les orientations présentées semblent faire école. Pour ne citer qu'un exemple, considérons celui de la région parisienne où l'exploitant en charge de la gestion de trafic des voies rapides à l'échelle régionale est en passe d'assumer la supervision technique et de sécurité des tunnels.

L'opération toulonnaise aura fait démonstration de la viabilité des concepts techniques développés.

ABSTRACT

Traffic supervision

Ph. Barlier, E. Pérard

The Toulon underground crossing project has enabled motorway continuity to be established between the East and West of the Toulon urban area.

The Var equipment authority ("DDE") identified as strategic the means to be put in place to ensure traffic control in the area in question, so as to optimise the service that can be provided by this infrastructure.

An ambitious approach of specification and then design of the traffic supervision system was thus undertaken.

This approach enabled the Var "DDE" to :

- Opt for organisational and technical integration of traffic supervision functions on all the motorways in the urban area, and tunnel safety monitoring, building management and traffic control functions ;

- Specify accordingly the appropriate needs and requirements of an operating aid system designed for the area defined above ;

- Design an operating aid system based on a technical architecture in line with these needs and requirements, a so-called federated and open architecture.

RESUMEN ESPAÑOL

La supervisión del tráfico

Ph. Barlier y E. Pérard

La operación de la travesía subterránea de Toulon ha permitido establecer una continuidad autovial entre el este y el oeste de la aglomeración urbana de Toulon.

La Delegación Departamental de Obras Públicas del departamento del Var ha identificado como estratégicos los medios que cabe implantar para garantizar la gestión del tráfico en la zona considerada, y ello con la intención de optimizar el servicio que puede prestar semejante infraestructura. Por consiguiente, se ha emprendido un enfoque ambicioso de definición, y acto seguido de diseño del sistema de supervisión del tráfico.

Semejante enfoque ha permitido a la Delegación Departamental de Obras Públicas del departamento del Var :

- optar por una integración organizativa y técnica de las funciones de super-

visión del tráfico en el conjunto de las autopistas de la aglomeración urbana, así como las funciones de vigilancia y seguridad, de gestión técnica y, asimismo de gestión técnica del túnel ;

- consecuentemente, definir las necesidades y requerimiento adaptados de un sistema de ayuda para la explotación expresamente proyectado para el perímetro anteriormente definido ;

- diseñar un sistema de ayuda para la explotación fundado en una arquitectura técnica en coincidencia con las necesidades y los requerimientos, según los principios de una arquitectura denominada federada y abierta.

Les retransmissions

L'exploitation du tunnel de Toulon en toute sécurité a nécessité la mise en place d'un dispositif radio permettant aux différents intervenants de communiquer : DDE, CRS, pompiers, SAMU... Le câble rayonnant permet de retransmettre en tunnel les réseaux radio présents à l'extérieur entre 35 et 500 MHz ainsi qu'une douzaine de stations FM. En cas de nécessité, les CRS ont la possibilité de couper le programme FM pour diffuser des messages de sécurité. Ce système est doublé par une installation de secours en 450 MHz propre au tunnel.

Antennes hertziennes
Microwave antennas



■ LES ONDES RADIOS ET LE TUNNEL

Le tunnel routier qui traverse la ville est un tube en béton armé enfoui où ne pénètre aucune onde radio. Or la composante radiocommunication est indispensable dans ce milieu confiné et isolé pour pouvoir assurer l'efficacité des interventions de secours ou d'exploitation.

Pour pallier cette absence d'éclairage radio-électrique de la chaussée du tunnel et de ses dépendances souterraines (locaux techniques, galeries de communications, chemins d'évacuation des usagers...), le tunnel de Toulon est équipé d'un dispositif de retransmission radio.

■ LE DISPOSITIF RADIO DU TUNNEL ET LES UTILISATEURS

Le dispositif crée un champ radioélectrique soit en mettant en œuvre des couples d'antennes réparties le long du tube de circulation, soit en mettant en œuvre un câble rayonnant suspendu en plafond du tube ou des galeries et locaux concernés.

Les utilisateurs (les services d'interventions : DDE, police, pompiers, SAMU, CRS, gendarmerie) munis de radiotéléphones portatifs peuvent ainsi communiquer entre eux ou avec l'extérieur.

Le dispositif retransmet plusieurs stations de la bande FM et assure la continuité de l'écoute aux automobilistes empruntant le tunnel.

Un équipement d'insertion de messages d'urgence, installé au PC autoroutier, permet à la police de couper le programme des stations FM retrans-

mises en tunnel et de le remplacer par un message enregistré ou diffusé par microphone.

A terme le dispositif permettra aussi d'utiliser en tunnel les téléphones portables sur les réseaux privés Orange, SFR et Bouygues. Ces équipements ne participent pas à la sécurité du tunnel.

Le contrôle du fonctionnement du dispositif est assuré en temps réel et les défauts constatés sont portés à la connaissance des agents de permanence au PC autoroutier.

■ L'ARCHITECTURE DU DISPOSITIF ET LA SÉCURITÉ

Le dispositif de Toulon comportera à terme deux installations indépendantes.

L'une met en œuvre un câble rayonnant : c'est un dispositif qui retransmet dans le tunnel les réseaux radios présents à l'extérieur.

Il effectue une retransmission radio large bande entre 35 et 500 MHz pour tous les services de sécurité et d'intervention :

- ◆ les canaux radios disponibles en tunnel (huit canaux analogiques, quatre canaux numériques) ont été choisis de façon à permettre aux pompiers, au SAMU, à la police, à la gendarmerie, aux CRS et à la DDE de conserver en milieu couvert les mêmes procédures et les mêmes radiotéléphones portatifs qu'à l'extérieur ;

ainsi que pour la bande des stations FM :

- ◆ douze stations FM sont retransmises (dont autoroute FM 107.7 MHz). Elles ont été choisies en fonction de leur taux d'écoute et du temps d'antenne consacré aux informations routières.

Pour sécuriser la retransmission radio par le câble rayonnant, celui-ci est suspendu au plafond du tube et sectorisé en sept tronçons indépendants d'une longueur inférieure à 500 m.

L'autre met en œuvre quatre couples d'antennes et n'utilise que la bande UHF 450 MHz. C'est un système de radiotéléphonie propre au tunnel.

Deux canaux sont disponibles : un pour la DDE, l'autre en partage pour les pompiers et les CRS. Ces deux installations indépendantes assureront la redondance de certaines liaisons radios.

Les antennes étant moins vulnérables que le câble rayonnant, en cas d'incendie en tunnel, l'utilisation du dispositif par antennes constituera un mode dégradé final.

Les équipements rayonnants en tunnel (câble rayonnant ou antennes) sont alimentés par des câbles coaxiaux reliés à des baies situées dans les locaux

radios

Alain Conangle
DIVISION APPLICATIONS
POUR L'EXPLOITATION DES RÉSEAUX
Centre d'études techniques maritimes
et fluviales

Raymond Peix
DIVISION APPLICATIONS
POUR L'EXPLOITATION DES RÉSEAUX
Centre d'études techniques maritimes
et fluviales

techniques isolés de l'atmosphère du tunnel. Les liaisons entre les locaux techniques sont assurées par des câbles fibres optiques ou par des câbles téléphoniques cheminant en fourreaux ou en galeries techniques isolés du tunnel.

Le dispositif de retransmission met en œuvre une station radio au bâtiment de ventilation UV2 sur lequel se trouvent les antennes en liaison avec les réseaux radios extérieurs.

■ LA MISE EN ŒUVRE ET LA MAINTENANCE

La mise en œuvre du "dispositif antennes" a fait l'objet d'une maîtrise d'ouvrage de l'Etat. La DDE 83 a été le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre du projet radio avec l'assistance du CETMEF.

La pérennité du système est assurée par l'Etat qui a passé un contrat d'entretien avec une entreprise de maintenance.

Le "dispositif câble rayonnant" a fait l'objet de deux appels d'offres sur performances afin de passer deux marchés :

- ◆ un premier marché pour l'installation du dispositif ;

- ◆ un second marché pour l'exploitation et la maintenance du système (marché d'un an reconductible 10 fois).

Le règlement de la consultation précisait que les deux marchés seraient attribués au même candidat. L'entreprise retenue est TDF Subwave.



Baies
radiophoniques
Radio racks

ABSTRACT

Radio retransmission

A. Conangle, R. Peix

Operation of the Toulon tunnel in complete safety required the establishment of a radio system allowing the various entities involved to communicate : "DDE" equipment authority, "CRS" state security police, fire fighters, SAMU emergency medical staff, etc. Radiant cable enables retransmission in the tunnel of the radio networks present outside between 35 and 500 MHz, as well as a dozen FM stations. In case of need, the "CRS" police are able to turn off the FM programme to broadcast safety messages. This system is duplicated by a 450 MHz backup installation specific to the tunnel.

RESUMEN ESPAÑOL

Las retransmisiones por radio

A. Conangle y R. Peix

La operación técnica del túnel de Toulon con toda seguridad ha precisado la implantación de un dispositivo de radiotransmisión, que permite las comunicaciones entre los diversos participantes : DDE, CRS, bomberos, SAMU, etc. El cable radiante permite retransmitir por el túnel las diversas estaciones y redes de radio presentes en el exterior, entre 35 y 500 MHz, así como una docena de estaciones FM. En caso necesario, las CRS tienen la posibilidad de cortar el programa FM para anunciar mensajes de seguridad. Este sistema está duplicado mediante una instalación de emergencia de 450 MHz propia para el túnel.

Eclairage et perception

La conception de l'éclairage du tunnel a été menée selon trois approches : réglementaire pour les niveaux d'éclairages, économique pour le choix du revêtement de chaussée et architecturale pour la lisibilité du tracé. L'éclairage a été dimensionné par un bureau d'études éclairagiste selon trois hypothèses de revêtement de chaussée associées à un calcul économique basé sur les coûts d'exploitation et d'investissement. Une approche combinée entre un architecte et un éclairagiste a permis le choix de coloration des piédroits. Le choix technico-économique s'est porté sur une chaussée blanche avec un retour sur investissement de l'ordre de 5 ans.

L'éclairage a été réalisé par une file d'éclairage en section courante équipée de sources fluorescentes et deux files aux entrées du tunnel équipées de source sodium haute pression. L'éclairage fonctionne de façon autonome, mais peut être piloté par le poste de commandement si besoin est.

Eclairage en section courante
Lighting on link section



■ OBJECTIFS

Le système d'éclairage en tunnel a pour objectifs :

- ◆ d'assurer la sécurité des usagers qui doivent distinguer suffisamment tôt la présence d'un obstacle situé sur la chaussée ;

- ◆ d'apporter un niveau de confort aux conducteurs en améliorant la lisibilité du tracé de l'ouvrage et en prenant en compte les éléments physiologiques liés aux phénomènes d'adaptation et de perception visuelle aux extrémités de l'ouvrage et au droit des points singuliers tels que les abris ou éléments de secours.

■ CONCEPTION

Une triple approche a été menée pour la conception du système d'éclairage :

- ◆ réglementaire en ce qui concerne les niveaux d'éclairage pour la zone de section courante et pour les niveaux de luminance dans les zones d'extrémités. Les recommandations du dossier pilote du Cetu ont été prises en compte ;

- ◆ économique en ce qui concerne l'optimisation du couple "chaussée/éclairage" qui prend en compte, d'une part, les caractéristiques de réflexion de la chaussée du tunnel et des piédroits et, d'autre part, les puissances électriques permettant d'atteindre les objectifs demandés ;

- ◆ architecturale pour améliorer la lisibilité du tracé compte tenu de la présence de plusieurs courbes

prononcées et renforcer la perception des ouvrages de sécurité jalonnant le tunnel.

■ LES ÉTUDES

Trois intervenants ont permis d'élaborer le projet global d'éclairage :

- ◆ un bureau d'études d'éclairagistes qui a dimensionné l'éclairage compte tenu des performances réglementaires demandées selon trois hypothèses de chaussée :

- une chaussée normale avec revêtement noir,
- une chaussée claire avec revêtement à granulats blancs et liant noir,
- une chaussée blanche avec revêtement à granulats blancs et liant clair, et selon la même hypothèse de piédroits clairs.

Ce bureau d'études a permis de dresser, pour chaque hypothèse, un bilan énergétique et une approche en terme de coût d'investissement des matériels prévus dans les trois cas ;

- ◆ une équipe composée d'un architecte et d'un éclairagiste. Cette approche combinée permet d'assurer une cohérence entre le choix de coloration des piédroits du tunnel, le type de marquage des ouvrages de sécurité et l'animation générale de l'ouvrage selon les stratégies de l'éclairage adoptées. Ainsi, MM. Lavigne et Arnaud ont opté pour une ambiance claire du tunnel résultant du choix de la teinte beige, d'une signalétique fonctionnant par contraste au droit des garages, abris et niches et d'un suréclairage des parois extérieures des virages et des zones de ces mêmes ouvrages. Ils ont pris en compte les éléments techniques et les bases réglementaires de dimensionnement de l'éclairage du bureau d'études ;

- ◆ l'équipe conseil du Cetu qui a été associée aux différents choix techniques et qui a formalisé les résultats de ces études et établi les marchés correspondants.

■ LES CHOIX TECHNIQUES

Ces études ont débouché sur les choix techniques suivants :

- ◆ l'étude économique a démontré l'intérêt d'adopter une chaussée blanche associée à un éclairage de puissance "réduite". Le retour sur investissement de l'utilisation d'enrobés spéciaux est de l'ordre de 5 ans par rapport aux coûts d'exploitation. Le choix définitif s'est donc porté sur une

de l'espace

Jean-Pierre Durand
CHEF DE LA SUBDIVISION
TRAVERSÉE DE TOULON
DDE du Var



Michel Janin
RESPONSABLE
DES PROJETS
"COURANTS FORTS"
Centre d'études des tunnels
(Cetu)



chaussée blanche mais avec un dimensionnement correspondant à une chaussée claire afin de bien prendre en compte le vieillissement de cette chaussée et des matériels ;

◆ l'éclairage en section courante est réalisé par une seule file d'appareils avec deux sources fluorescentes 55 W, haute fréquence. Cette file d'appareils a été placée au-dessus de la voie routière de droite afin de faciliter les opérations de maintenance et de placer son réseau d'alimentation dans la gaine de ventilation air frais qui est protégée contre l'incendie pendant 2 heures ;

◆ les zones d'éclairage de renforcement aux extrémités ont été traitées sur 250 m. Cet éclairage est assuré par deux files de projecteurs mono-source fonctionnant en contre-flux avec des sources sodium, haute pression, de 250 à 150 W ;

◆ l'éclairage architectural est réalisé par des files de projecteurs avec des sources sodium, haute pression de 100 W éclairant les piédroits et de projecteurs ponctuels renforçant l'éclairage des accès aux ouvrages de sécurité. Les zones de garage font aussi l'objet d'un renforcement spécial. Le choix architectural des colorations des piédroits renforce encore la perception des ouvrages de sécurité ;

◆ les câbles d'alimentation circulent dans la gaine air frais et sont de type "C2" (non propagateur de l'incendie) conformément aux stipulations de la circulaire du 25 août 2000 concernant la sécurité des tunnels routiers du réseau national. Les circuits sont sécurisés par tronçon tous les 600 m ;

◆ l'éclairage de sécurité est intégré à l'éclairage général mais il est alimenté par un circuit secouru assurant une autonomie de 1 heure en cas de panne totale d'alimentation ;

◆ l'éclairage fonctionne de façon autonome à partir d'automates et de capteurs selon les heures de la journée et les niveaux d'ensoleillement aux extrémités du tunnel, mais peut être piloté à partir du centre d'exploitation si besoin est.

■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

La réalisation des travaux d'éclairage s'est effectuée lors du premier semestre 2002 et a fait l'objet de la passation de trois marchés :

◆ un marché de fournitures attribué à la société Eclatec et comprenant aussi l'étude photométrique ;

◆ un marché de travaux attribué à la société Spie Trindel et comprenant aussi l'installation des réseaux d'alimentation dans le cadre de la rubrique "Courants forts" ;

◆ un marché de travaux attribué à la société Clemessy et comprenant aussi l'installation des automatismes de commande dans le cadre de la rubrique "Gestion technique centralisée des équipements électromécaniques".

Ainsi, 1 500 appareils d'éclairage ont été fournis



Eclairage architectural des piédroits dans les virages

Architectural lighting of the side walls in bends



Traitement architectural des niches de sécurité

Architectural surfacing of safety recesses

et posés avec 21 000 m de câbles et quatre automates de gestion reliés au centre d'exploitation.

■ CONCLUSION

La conception du système d'éclairage a été conduite de façon globale en faisant la synthèse entre l'étude d'éclairage et l'étude architecturale et en optimisant les coûts d'investissement (nature de la couche de roulement de la chaussée et dimensionnement des appareils) et les coûts de fonctionnement (puissance consommée).

Cette optimisation a été rendue possible grâce à la technique novatrice de la chaussée blanche.

ABSTRACT

Lighting and perception of space

J.-P. Durand, M. Janin

Design of the tunnel lighting was carried out according to three approaches : regulatory for lighting levels, economic for the choice of pavement surfacing, and architectural for legibility of the layout. The lighting was designed by a lighting engineering office in accordance with three pavement surfacing hypotheses combined with an economic calculation based on operating and capital costs. A combined approach by an architect and a lighting engineer enabled a choice of side wall colouring. The technical and economic choice adopted was a white pavement with a payback period of approximately five years.

The lighting was implemented by a row of lights on link sections equipped with fluorescent light sources and two rows at the tunnel entrances equipped with a high-pressure sodium source. The lighting operates autonomously, but can be controlled by the control centre if need be.

RESUMEN ESPAÑOL

Iluminación y percepción del espacio

J.-P. Durand y M. Janin

El diseño de la iluminación del túnel se ha llevado a cabo según tres enfoques : reglamentario para los niveles de iluminación, económico para la opción del revestimiento de la calzada y arquitectónico para la apreciación visual del trazado. La iluminación se ha calculado por parte de una oficina de estudios de la especialidad, según tres hipótesis de revestimiento de la calzada integrados a un cálculo económico fundado en los costes de operación y de inversión. O sea, un enfoque combinado entre un arquitecto y un especialista de la iluminación, que ha permitido optar por la coloración de los muros verticales de descarga de la bóveda. La opción técnico-económica ha permitido optar por una calzada blanca con una recuperación de las inversiones del orden de los cinco años. La iluminación se ha realizado por medio de una hilera de alumbrado en sección corriente equipada con tubos fluores-

centes y dos hileras en las entradas del túnel equipadas con tubos de sodio de alta presión. La iluminación funciona de forma autónoma, pero puede ser controlada desde el puesto de mando, si se presentase la necesidad.

La peinture des piédroits

Jean-Louis Mahuet



INGÉNIEUR PRINCIPAL
CHARGÉ
DES TECHNIQUES
SPÉCIALES GÉNIE CIVIL
Semaly - Groupe Egis

Un système de peinture a été appliqué sur les piédroits des ouvrages du tube nord pour renforcer le confort et la sécurité de l'utilisateur. Il comprend notamment une bande de guidage réalisée sur le piédroit. Les spécifications de la circulaire 200-63, concernant le comportement au feu des systèmes de peinture ont été pour la première fois en France appliquées sur cet ouvrage.

Dans le but d'améliorer la sécurité et le confort de l'utilisateur, tout en facilitant l'entretien de l'ouvrage, les piédroits du tunnel et des trémies d'accès ont été mis en peinture. Les travaux de mise en peinture ont été attribués à la société Prezioso. Environ 40 000 m² de peinture ont été appliqués d'avril à juillet 2002.

Le fournisseur des systèmes de peinture est la société Maestria.

Les faits marquants de ces travaux ont été les suivants :

- ◆ pour la première fois en France, spécification d'un système de peinture classé au feu M1, respectant ainsi la circulaire 2000-63 du 25 août 2000. Le retour d'expérience de ce chantier montre cependant que, s'il est possible d'obtenir des systèmes de peinture M1, cela risque parfois d'être au détriment de leurs autres performances (résistance au délaminage entre couches, résistance à l'encrassement, etc.). Une réflexion est sur ce sujet en cours au sein du GT n° 31 de l'Aftes ;

- ◆ pour la première fois également en France, spécifications de l'application d'un système de peinture sur un support constitué d'un matériau coupe-feu. Celles-ci ont été par ailleurs entièrement reprises par le GT n° 31 de l'Aftes chargé de rédiger des recommandations relatives "à la mise en peinture des ouvrages souterrains".

Le phasage des travaux de mise en peinture a été le suivant :

◆ **préparation des supports :**

- décapage par lavage à très haute pression (≥ 40 MPa),
- rebouchage et dégrossissage des défauts du support les plus prononcés avec un enduit époxydique en phase aqueuse : Epodux Enduit "O" 82-32,
- injection d'arrêt d'eau des fissures suintantes avec un coulis chimique à base de méthacrylate MC Injekt GL-95 de la société MC. Bauchemie ;

◆ **mise en peinture des bandeaux et piédroits des trémies d'accès et du tunnel :**

Les piédroits des trémies et du tunnel ont été peints sur une hauteur variant de 4,80 m à 5 m.



Photo 1
Atelier mobile
de mise en peinture
des piédroits

*Mobile equipment
for painting of side
walls*

L'épaisseur minimale sèche spécifiée est de 300 μ .

- *mise en peinture sur support préalablement traité par injection d'arrêt d'eau* : application d'un système de peinture époxydique en phase aqueuse en trois couches de Striaosol "O",

- *mise en peinture sur support sec* d'un système de peinture époxydique sans solvant en deux couches de Epodux ARF (RAL 1015). Cette application, comme le montre la photo 1 a été effectuée par projection "airless" à partir d'un camion atelier spécialement aménagé par l'entrepreneur,

- *mise en œuvre d'une finition anti-UV* sur les bandeaux des trémies, et sur une longueur d'environ 30 m des têtes d'entrée et de sortie des trémies d'accès au tunnel. Celle-ci d'une épaisseur sèche minimale de 100 μ a été le système Polystria à base d'acryluréthane appliqué en deux couches ;

◆ **mise en œuvre de l'animation colorée :**

Cette animation colorée, à vocation sécuritaire, n'a été mise en œuvre que sur le piédroit nord (voie lente) de l'ouvrage, soit pour constituer une bande de "guidage" de 0,80 m de hauteur, soit pour signaler les garages, entrées de refuge, etc. La tein-



Photo 2
Mise en œuvre manuelle de l'animation colorée
Manual application of the coloured animation

► te marron (RAL 8003) permet la mise en valeur de cette animation, qui comme le montre la photo 2, a été réalisée manuellement pour la bande de "guidage" (cf. article précédent "Eclairage et la perception de l'espace").

Le système de peinture mis en œuvre comprend deux couches d'époxy sans solvant Epodux ARF d'une épaisseur sèche totale de 150 µ. Dans les zones exposées au rayonnement ultraviolet, une finition Polystria en acryl-uréthane en deux couches a été rajoutée ;

◆ **mise en peinture des supports en matériaux coupe-feu :**

Cette application particulière a principalement concerné celle de la protection coupe-feu des carreaux de ventilation du tunnel.

Le système appliqué est le même que celui de la surface courante de piédroit. Seule particularité, et dans l'attente d'un retour d'expérience pour ce type de support, l'adhérence du système de peinture a été ramenée de 2 MPa à ≥ 1 MPa ;

◆ **mise en peinture sur la métallerie :**

Application d'un système en trois couches comprenant après préparation spécifique de ce type de support :

- 1 couche d'un époxy polyamide Epodux HV PC 61-134,
 - 1 couche Epodux HV PC 61-133,
 - 1 couche de finition en acryl-uréthane Polystria.
- L'épaisseur totale sèche du système est de 200 µ.

ABSTRACT

Side wall painting

J.-L. Mahuet

A paint system was applied on the side walls of the northern tube structures to enhance user comfort and safety. It includes, in particular, a guide strip produced on the side wall. The specifications of circular 200-63 concerning the fire behaviour of paint systems were applied for the first time in France on this structure.

RESUMEN ESPAÑOL

La pintura de los muros verticales de descarga de la bóveda

J.-L. Mahuet

Se ha aplicado un sistema de pintura en los muros verticales de descarga del tubo redondo para así reforzar la comodidad y la seguridad del usuario. Consta, fundamentalmente, de una banda de guiado ejecutada sobre el muro vertical. Las especificaciones de la circular 200-63, relativas el comportamiento en caso de incendio de los sistemas de pintura han sido aplicadas por vez primera en Francia, para esta estructura.

Le véhicule de secours tunnel

Michel Persoglio

COMMANDANT

Direction départementale des services d'incendie et de secours du Var

Hervé Tocan

DIRECTEUR

COMMERCIAL FRANCE

Iturri



L'instruction du dossier de sécurité du tunnel de Toulon a conduit le maître d'ouvrage à doter les services de secours d'un véhicule de lutte contre l'incendie dédié au tunnel. Cet article décrit les caractéristiques de ce véhicule.

Sur avis du comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers, le maître d'ouvrage a doté "les services de secours d'un véhicule de lutte contre l'incendie dédié au tunnel et de gabarit adapté à la géométrie de celui-ci". Armé par six sapeurs-pompiers du centre de secours principal de Toulon, le véhicule de secours en tunnel (VST) est spécialement équipé pour les interventions à l'intérieur d'un unique tube unidirectionnel.

La conduite de telles opérations nécessite de mener simultanément l'extinction de l'incendie et la mise en sécurité des usagers. Les plans d'intervention prévoient que cet engin sera prioritairement dédié à la lutte contre le feu pendant que d'autres assureront les sauvetages à partir des différents points d'accès.

Cet engin doit donc permettre la progression dans le tube concerné par le sinistre ainsi que le déplacement dans la fumée. Dès lors, les personnels doivent pouvoir continuer leur mission dans ce milieu hostile. Ce véhicule répond à un ensemble de critères (opérationnels et de sécurité) définis par les services opérationnels et techniques du service départemental d'incendie et de secours du Var. Le VST est équipé pour assurer la sécurité des personnels d'intervention et si nécessaire accueillir des usagers situés en zone enfumée. La cabine de conduite est aménagée comme une zone de sécurité et de survie. Elle permet l'installation des six sapeurs-pompiers et simultanément l'accueil de quatre autres personnes.

Tous les postes de ces occupants sont pourvus d'une distribution d'air provenant d'une réserve de 100000 litres. De plus, en vue de limiter l'échauffement, la cabine et les pneumatiques sont arrosés par une série de buses. Les vitres sont renforcées par un film de protection thermique.

Pour assurer sa mission d'extinction, le véhicule est équipé de nombreux dispositifs. Les moyens hydrauliques comprennent une pompe de 1 500 litres par minute et une citerne de 2 800 litres d'eau. Sont également installées deux cuves pour des ad-



Le véhicule de secours en tunnel de Toulon (VST). Sur la face avant, on peut voir le canon anti-incendie, le tuyau de premier secours et le logement de la caméra thermique

The emergency vehicle in Toulon tunnel. At the front end, you can see the fire fighting gun, the emergency aid hose and the thermal camera housing



Le VST côté avant

Tunnel emergency vehicle front end

ditifs chimiques (des émulseurs) permettant une meilleure efficacité (que l'eau pure) sur des incendies mettant en cause des hydrocarbures. Un système de dosage automatique permet d'injecter la quantité d'émulseur nécessaire en fonction du débit de l'engin et de l'effet souhaité.

Sur la face avant du véhicule, nous trouvons une lance de première attaque d'un débit de 500 l/min ainsi qu'un canon de 1 500 l/min directement actionné depuis le poste de conduite du véhicule au moyen d'une commande électrique et d'un joystick. En effet, à la différence des engins d'incendie



Le VST côté arrière. On peut voir les dévidoirs de tuyaux d'attaque

Tunnel emergency vehicle rear end. You can see the hose reels

► conventionnels, toutes les commandes sont ramenées dans l'habitacle. Le conducteur ne descend pas de son véhicule tout au long de la manœuvre. Il peut assurer sa mission avec le maximum de sérénité donc de sécurité pour ses coéquipiers.

Pour permettre un déplacement dans la fumée, l'engin est équipé d'un système de caméra thermique avec retransmission d'image par radio. Ce système permet également de suivre l'image depuis la cabine lorsque l'équipage utilise la caméra thermique à distance du véhicule.

D'autres dispositifs ont été installés dans les coffres latéraux gauche et droit à l'identique, de telle manière que, si une paroi du tunnel ou le panneau d'un poids lourd devait empêcher l'ouverture des coffres d'un côté du VST, le même matériel puisse être utilisé dans les coffres opposés.

Cet engin est équipé de matériels de désincarcération, d'éclairage, de balisage et de matériels de manœuvre de force. Cette polyvalence permet d'activer ce véhicule pour toute intervention dans le tunnel. Il est ainsi plus fréquemment employé donc mieux connu par le personnel qui acquiert ainsi de meilleurs automatismes malgré ses spécificités.

Ce véhicule, a été réalisé par une société espagnole (société Iturri), retenue par appel d'offres sur performance européen. Le véhicule est propriété de l'Etat. Il est mis à disposition des sapeurs pompiers du Var par voie de convention.

ABSTRACT

The tunnel emergency vehicle

M. Persoglio, H. Tocan

Examination of the safety dossier for the Toulon tunnel led the Owner to provide the emergency services with a fire fighting vehicle dedicated to the tunnel. This article describes the characteristics of this vehicle.

RESUMEN ESPAÑOL

El vehículo de emergencia del túnel

M. Persoglio y H. Tocan

La instrucción del expediente de seguridad del túnel de Toulon ha conducido al director de la obra a dotar a los servicios de emergencia de un vehículo de lucha contra incendios expresamente para el túnel. Se describen en el presente artículo las características de este vehículo.

Eléments de coût de l'opération

Alain Chabert



CHEF
DE L'ARRONDISSEMENT
DE TOULON
DDE du Var

Jean-Pierre Durand



CHEF DE LA SUBDIVISION
TRAVERSÉE DE TOULON
DDE du Var

Le montant de la première phase de l'opération est de 351,55 M€, financé par l'Etat, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le département du Var et la ville de Toulon. Par rapport à l'estimation de l'avant-projet d'ouvrage d'art, le coût a augmenté d'environ 50 % en raison des difficultés géologiques mises en évidence par le fontis de 1996, de l'évolution des dispositions de sécurité dans les tunnels routiers et de divers compléments apportés au projet.

■ COÛT DE LA PREMIÈRE PHASE DE L'OPÉRATION

Le coût total de la première phase de l'opération s'élève à 351,55 millions d'euros (M€), soit 2 306 millions de francs (MF). Ce montant s'entend en monnaie courante, à la date du paiement des travaux, étant entendu que ceux-ci se sont déroulés entre 1991 et 2003.

Le tableau I et la figure 1 indiquent la répartition de ce coût entre les différents postes.

■ ESTIMATION DU COÛT DE L'ENSEMBLE DE L'OPÉRATION

Le coût de la première phase peut être réparti entre les deux tubes selon la règle suivante :

- ◆ le coût des ouvrages communs est distribué à parts égales entre le tube nord et le tube sud (génie civil des unités de ventilation, travaux préparatoires, centre d'exploitation, acquisitions foncières...);
- ◆ le coût des accès est attribué au prorata de la longueur des ouvrages réalisés pour chacun des deux tubes, soit 58 % pour le tube nord et 42 % pour le tube sud ;
- ◆ les autres coûts sont affectés au seul tube nord.

La première phase se répartit à hauteur de 290 M€ pour le tube nord et de 62 M€ pour le tube sud. Compte tenu du fait que le montant du tube nord inclut un surcoût pour la reprise de la zone de l'effondrement et pour la prise en compte en cours de chantier de l'évolution des dispositions de sécurité, la seconde phase peut être estimée à 200 M€ environ.

Dans ces conditions, le coût de l'ensemble de la liaison autoroutière souterraine à 2 x 2 voies peut

Répartition du coût (en € courants à la date des travaux)		
Acquisitions foncières en M €	2,31	0,7%
Etudes	9,77	2,8%
Construction des accès est et ouest	81,3	23,9%
Tunnel foré, y compris puits d'attaque et renforcements	152,52	44,9%
Reprise de l'effondrement	20,6	6,1%
Génie civil des unités de ventilation	13,39	3,9%
Equipements, signalisation et aménagements paysagers	34,15	10,1%
Dépenses diverses (protections phoniques, déplacements de réseaux...)	37,51	11,0%
Travaux	339,47	96,6%
Total	351,55	100,0%

Tableau I
Répartition du coût (en euros courants à la date des travaux)

Cost breakdown (in euros unadjusted for inflation at the date of the works)

Figure 1
Répartition du coût des travaux
Breakdown of the cost of works

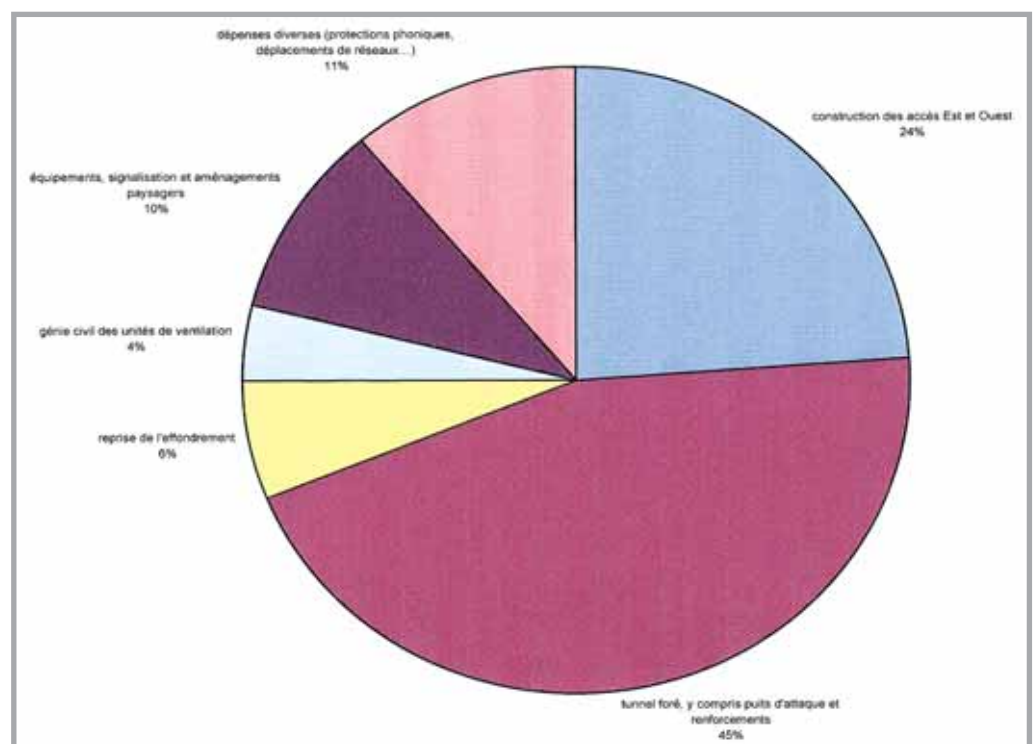


Figure 2
Dépenses annuelles
(mandatements)
Annual expenses
(invoice payments)

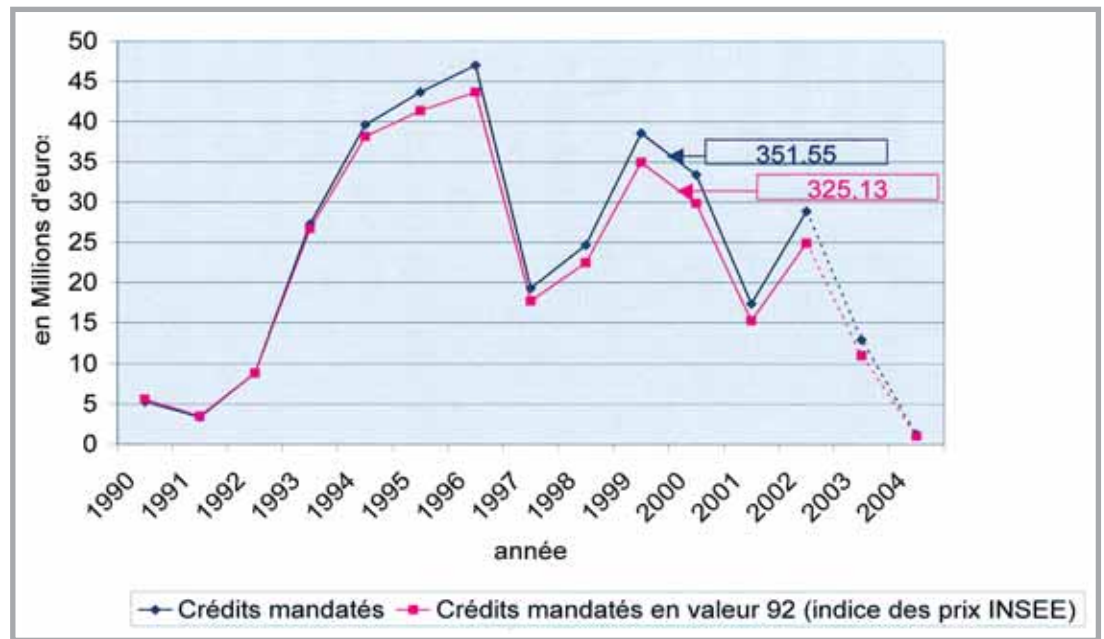
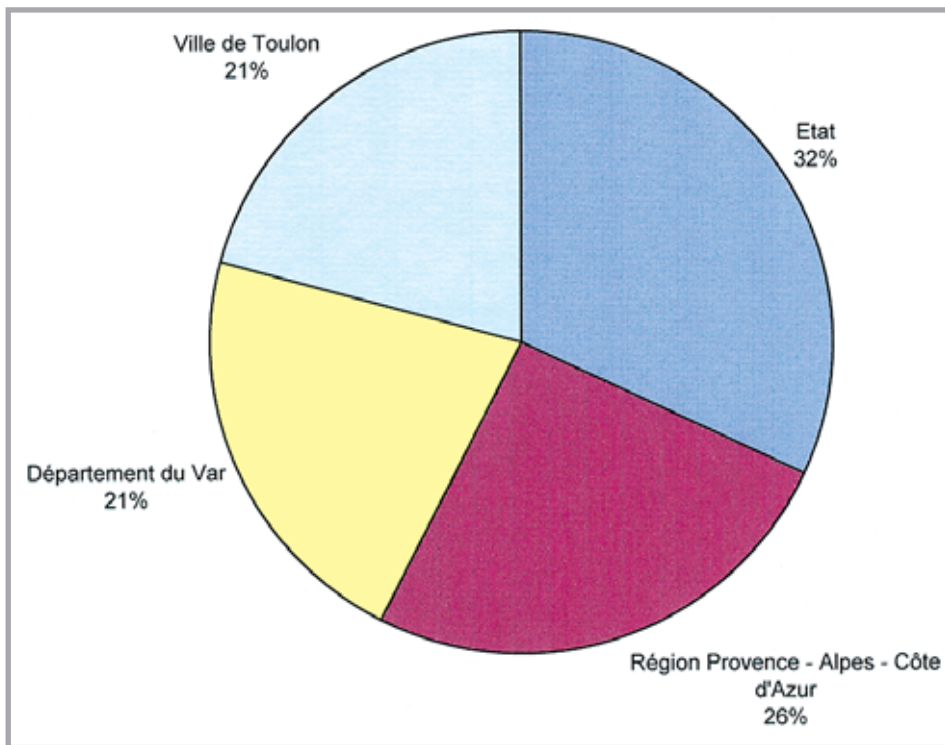


Figure 3
Contributions des partenaires
financiers

Contributions by financial partners



tissements de l'opération dues au fontis de 1996 d'une part et à la prise en compte de l'évolution des dispositions de sécurité d'autre part.

■ ÉVOLUTION DU COÛT

Dans l'avant-projet approuvé le 29 décembre 1989, le coût de l'ensemble de l'opération était estimé à 274 M€ (valeur mars 1989) dont 183 M€ pour la première phase.

Les études détaillées ont conduit à porter l'estimation de la première phase à 218 M€ (valeur juin 1992) lors de l'approbation de l'avant-projet d'ouvrage d'art en date du 3 août 1992.

Ramené en valeur 1992, le montant de la première phase sera finalement de 325 M€ (figure 2), ce qui représente une augmentation de 50 % par rapport à l'estimation de l'avant-projet d'ouvrage d'art. Cette augmentation correspond aux trois causes suivantes :

- ◆ le fontis de 1996 (cf. *Travaux* n° 806 page 44) : la méthode de creusement a alors été fortement renforcée, ce qui représente environ 75 % du surcoût ; à noter que le coût de la reprise de la zone effondrée a été pris en charge entièrement par l'Etat pour 20,6 M€ ;

- ◆ l'évolution des dispositions de sécurité dans les tunnels routiers suite à l'incendie de 1999 dans le tunnel du Mont-Blanc (cf. article page 42) : les travaux complémentaires et les difficultés rencontrées de ce fait pour la gestion globale du chantier représentent environ 18 % du surcoût ;

- ◆ des compléments apportés au projet initial à la demande des collectivités associées au financement ou afin de mettre à niveau le projet en ce qui concerne l'exploitation de l'ouvrage au sein du réseau autoroutier non concédé de l'agglomération : aménagement de l'insertion autoroutière sur A50,

▶ être évalué à 552 M€, soit 167 M€/km.

■ DÉPENSES ANNUELLES

La figure 2 présente les montants mandatés chaque année :

- ◆ en monnaie courante ;
- ◆ en valeur 1992, obtenue sur la base de la moyenne annuelle des indices des prix INSEE à la consommation.

Il apparaît que les dépenses se répartissent selon une courbe "en cloche" à l'exception des rallen-

création d'une bretelle de sortie supplémentaire au Pont des Gaux, réalisation de murs antibruit et d'aménagement paysagers complémentaires... Ces travaux divers représentent environ 7 % du surcoût.

■ FINANCEMENT DU PROJET

La clé de financement adoptée pour les travaux est la suivante :

- ◆ Etat : 27,5 % ;
- ◆ région Provence-Alpes-Côte d'Azur : 27,5 % ;
- ◆ département du Var : 22,5 % ;
- ◆ ville de Toulon : 22,5 %.

Toutefois, compte tenu des différentes clés de financements adoptées pour les études et de la prise en charge à 100 % par l'Etat du coût de la reprise de la zone du fontis, les participations financières sont globalement les suivantes (figure 3) :

- ◆ Etat : 112,5 M€ soit 32,0 % ;
- ◆ région Provence-Alpes-Côte d'Azur : 90,1 M€ soit 25,6 % ;
- ◆ département du Var : 75,2 M€ soit 21,4 % ;
- ◆ ville de Toulon : 73,7 M€ soit 21,0 %.

ABSTRACT

Project cost aspects

A. Chabert, J.-P. Durand

The amount for the first phase of the project is €351.55 m, funded by the state, the Provence-Alpes-Côte d'Azur region, the Var "département" and the City of Toulon. By comparison with the estimate for the initial tunnel design, the cost has increased by about 50 % due to the geological difficulties illustrated by the subsidence cavity of 1996, the revision of safety provisions in road tunnels, and various supplements added to the project.

RESUMEN ESPAÑOL

Elementos del coste de la operación

A. Chabert y J.-P. Durand

El importe de la primera etapa de la operación se eleva a 351,55 M€, costeada por el Estado, la región Provenza-Alpes-Costa Azul, el departamento del Var y la villa de Toulon. Por comparación con la evaluación del anteproyecto de la estructura, su coste ha aumentado de un 50 %, aproximadamente, debido a las dificultades geológicas evidenciadas por el socavón de 1996, así como las evoluciones de los dispositivos legales de seguridad en los túneles viales y otros complementos diversos introducidos en el proyecto.

Mise en service et premiers

Mis en service le 19 septembre 2002 avec une vigilance particulière des services de l'Etat, le premier tube de la traversée souterraine de Toulon répond grandement aux attentes des usagers en terme de fluidité. Si quelques difficultés subsistent encore, liées à l'extrême sophistication et à la jeunesse d'équipements non éprouvés ailleurs, l'infrastructure s'avère tout à fait opérationnelle et bénéficie d'une réserve de capacité importante. Aucun événement majeur ne s'y est produit et la seule réserve à émettre concerne finalement le comportement et l'incivisme de certains usagers qui peuvent augurer des accidents à caractère grave.

■ L'OUVERTURE AUX USAGERS

Le premier tube (unidirectionnel dans le sens est-ouest) de la traversée souterraine de Toulon a été mis à la disposition des usagers le 19 septembre 2002 à six heures précises, en présence des médias régionaux et nationaux, compte tenu du caractère événementiel de cette mise en service.

Les premiers véhicules y ont pénétré en convoi, un bouchon mobile ayant été créé à cet effet par la brigade de la CRS 59 dès l'ouverture de l'autoroute A57, fermée à la circulation pendant la nuit pour les derniers tests de sécurité.

■ LE DISPOSITIF DE SURVEILLANCE

Le CIGT (Centre d'information et de gestion du trafic), opérationnel 24 heures sur 24, était auparavant uniquement tenu par les CRS. En prévision de la mise en service du premier tube, il a été renforcé par une équipe de sept régulateurs issus de la DDE, spécifiquement formés à cet effet, travaillant en équipe de 3 x 8.

Dès quatre heures du matin, le CIGT, doté pour l'occasion d'effectifs renforcés, tant au niveau des CRS que de la DDE, a vécu une période d'activité intense et fébrile, dans un climat de tension bien compréhensible. Ce n'est qu'après une demi-journée de fonctionnement sans problème particulier que l'atmosphère s'est détendue.

■ LE CONSTAT APRÈS SIX MOIS D'EXPLOITATION

Les trafics

Dans le tunnel, le trafic moyen journalier est relativement stable à hauteur de 25 000 véhicules en période ouvrée et de 21 000 le week-end. Il reste nettement inférieur à l'hypothèse initiale de 32 000 véhicules/jour. La pointe horaire se situe le soir entre 18 h 00 et 19 h 30 avec un volume moyen de 2 100 véhicules/heure, le maximum atteint étant de 2 700 véhicules/heure, sans conduire toutefois à saturation.

En surface, le trafic sortant de Toulon par d'autres infrastructures et s'insérant sur l'autoroute A50 (26 000 véhicules/jour) reste plus important que celui provenant du tunnel.

Si le recul n'est pas suffisant pour affirmer que ces

trafics sont à un niveau pérenne, le premier constat est que l'infrastructure dispose d'une réserve de capacité relativement importante (de l'ordre de 40 %) et que le trafic a globalement augmenté de 10 % sur l'A50 à l'ouest du tunnel.

Le comportement des usagers

Suivant les périodes, les vitesses moyennes sont légèrement supérieures (de 2 à 7 km/h) à la vitesse autorisée (70 km/h). Des excès isolés à environ 150 km/h sont cependant inquiétants en regard de la sécurité.

Les inter-distances ne sont plus respectées alors qu'elles semblaient approximativement l'être à la mise en service.

De trop nombreux poids lourds traversent en infraction (11 % du trafic PL autorisé).

Enfin, à l'occasion de fermetures, plusieurs usagers ont endommagé les dispositifs de fermeture.

Les incidents de circulation

Un seul accident (matériel) s'est produit dans le tunnel depuis sa mise en service ; on peut donc considérer l'infrastructure comme relativement sécurisante, bien que deux accidents corporels (trois blessés légers) se soient produits en approche, qui conduisent à envisager une modification de la signalisation de direction sur portiques.

Les nombreuses pannes de véhicules occasionnent des neutralisations de voie pour porter secours aux usagers ou pour leur permettre de sortir des garages en toute sécurité. Le taux de pannes s'élève à 2 pour 100 000 véhicules.

Les incidents liés à l'infrastructure et ses équipements

Différentes anomalies dans le fonctionnement, dont la plupart mineures, ont été constatées depuis la mise en service ; elles sont autant liées à la complexité du système informatique qu'à sa jeunesse et son unicité.

Le réseau d'appel d'urgence, avec cinq pertes d'une durée moyenne inférieure à 30 minutes requérant une vigilance renforcée des régulateurs, est l'équipement ayant causé le plus de souci en terme de fiabilité.

Le système informatique n'a pas eu immédiatement toute la fiabilité attendue :

◆ les temps de réponse des équipements en cas

résultats de l'exploitation

Jean-Pierre Gentil



CHEF DE LA SUBDIVISION
ÉTUDES ET GRANDS
TRAVAUX URBAINS
DDE du Var

de fermeture d'urgence était à l'origine de 40 secondes contre 15 prévues au marché (10 atteintes avec la dernière version) ;

◆ chaque nouvelle version de logiciel installée a conduit à un fonctionnement aléatoire des dispositifs de fermeture ;

◆ le calibrage de la DAI (détection automatique d'incident) s'est avéré fastidieux (remontées de fausses alertes au niveau de la supervision) ;

◆ les anciens PMV (panneaux à messages variables) des autoroutes présentent encore des dysfonctionnements (pertes d'accessibilité depuis la supervision) essentiellement dus aux protocoles d'échanges de données entre systèmes.

Enfin, quelques anomalies sur le réseau d'évacuation des eaux de voirie (descellement de grilles), ont contraint à adopter des restrictions de circulation pendant environ un mois (réduction de la largeur circulaire et limitation de la vitesse à 50 km/h).

■ CONCLUSIONS

Extrêmement sophistiqués du point de vue technologique, le tunnel et ses équipements, malgré



Le tunnel sous circulation

The tunnel with traffic

quelques difficultés imputables à leur jeunesse, fonctionnent mieux qu'on ne pouvait s'y attendre, à la plus grande satisfaction des usagers de l'aire toulonnaise. Aucune difficulté majeure n'ayant été rencontrée, les craintes précédant la mise en circulation ont ainsi été levées et la disponibilité temporelle de l'infrastructure est tout à fait satisfaisante : 99 % de jour (indice de gêne de 0,9 %) et 76 % de nuit (indice de gêne de 2,4 % – Les fermetures étant toutes liées à des travaux connexes destinés à renforcer les conditions de sécurité).

ABSTRACT

Commissioning and initial operating results

J.-P. Gentil

Commissioned on 19 September 2002 with special care by the state authorities, the first tube of the Toulon underground crossing largely meets the expectations of the users in terms of fluidity.

Although some difficulties still remain, related to the extreme sophistication and youth of equipment not tried and tested elsewhere, the infrastructure is proving completely operational and has extensive spare capacity.

No major event has occurred there and the only reservation to be made in the end concerns the uncivil behaviour and attitudes of certain users, which could prefigure accidents of a serious nature.

RESUMEN ESPAÑOL

Puesta en servicio y resultados preliminares de la operación

J.-P. Gentil

El primer tubo de la travesía subterránea de Toulon -que ha entrado en servicio el 19 de septiembre de 2002, con una vigilancia particular por parte de los servicios del Estado- responde en su totalidad a las expectativas de los usuarios en términos de fluidez.

Si bien subsisten algunas dificultades, relacionadas con la extraordinaria sofisticación y la tempranía de los equipos e instalaciones no sometidos a prueba hasta la fecha en otros casos, la infraestructura demuestra ser absolutamente operativa y se beneficia de una reserva de capacidad importante. No se ha producido hasta la fecha ningún acontecimiento importante y la única reserva que se puede plantear se refiere, finalmente, al comportamiento y al incivismo de algunos automovilistas que permiten augurar accidentes de carácter grave.

Les enseignements d'un

L'excavation du tunnel de Toulon, après 1998, a permis de développer des méthodes très sûres lorsque le bâti de surface est dense et sensible aux tassements et que la géologie est très variable :

- excavation en section entière, soutènement fermé près du front, présoutènement de la voûte et soutènement dense du front par boulons de grande longueur ;
- traitement de terrain, à partir des forages de boulons de front ou de prévoûte, utilisant le même matériel que pour le scellement, de façon à assécher le front et à limiter les tassements ;
- détermination du soutènement à partir des tassements mesurés à l'avant du front et transmis en temps réel par e-mail aux différents consultants et experts.

Lorsqu'un chantier de la dimension du tunnel autoroutier de Toulon se déroule pendant une longue durée et doit surmonter de nombreuses difficultés, il y a de nombreux enseignements de tous ordres à en tirer.

Pour ma part, ayant assisté le maître d'ouvrage pendant 3 ans, à partir de la reprise des travaux de creusement (dernier trimestre 1998) dans la zone où les constructions de surface étaient les plus denses, j'ai retiré plus particulièrement les enseignements suivants :

■ CONCERNANT L'EXCAVATION DU TUNNEL

La méthode de forage et de soutènement, utilisée à partir de 1998, est à recommander dans les terrains du type de ceux qu'on rencontre à Toulon lorsqu'on doit éviter tout incident sérieux en surface : il s'agit d'une méthode "franco-italienne" qui minimise les tassements en excavant le tunnel en pleine section, en fermant le soutènement provisoire (y compris radier) très près du front, en réalisant un présoutènement du front par boulons de front de grande longueur, par voûte parapluie en tubes métalliques divergents et par prévoûte Perforex en béton projeté.

connue grâce à des mesures nombreuses et fréquentes, a permis de prévoir l'évolution ultérieure des tassements et d'y faire face en adaptant le soutènement provisoire réalisé depuis le front d'excavation.

De ce point de vue, la transmission régulière très rapide, par e-mail, des résultats des mesures et de toutes les informations géologiques ou autres aux différents conseils et experts concernés, a permis aux responsables d'arrêter, en temps utile, les dispositions à prendre sur le chantier, après concertation (téléphonique, au besoin) avec ces conseils et experts, aussi souvent que nécessaire. Cette méthode nous paraît être à généraliser sur les chantiers délicats. Même les photos numériques du front ou des zones déformées peuvent être transmises, en temps réel, à tous les intéressés pour compléter leur perception du comportement du terrain.

La méthode d'injection de traitement sommaire des terrains, mise au point sur le chantier, à partir des forages de boulons de front ou de voûte parapluie, s'est révélée très efficace pour diminuer les venues d'eau à front ou les tassements des terrains de couverture insuffisamment compacts. Cette méthode est intéressante, car elle est rapide, elle utilise le matériel de scellement des boulons et elle évite d'intervenir en surface, avec les nuisances de bruit, salissure et perturbation au trafic qui accompagnent ce genre d'opération.

■ CONCERNANT L'ORGANISATION GÉNÉRALE DU PROJET

Il est souhaitable d'inventorier et d'expertiser en détail les bâtiments et réseaux de surface avant de lancer l'appel d'offres des travaux de génie civil du tunnel, afin d'inclure de façon précise dans le marché de l'entreprise toutes les contraintes dont elle doit tenir compte au cours des travaux. Les procédures administratives sont longues, notamment celles qui régissent les marchés publics : publicité, appel d'offres, Commission spécialisée des marchés, etc. ; il faut donc un effort accru de planification pour intégrer les délais correspondants dans le planning général de l'opération et pour éviter les retards dans le déroulement des travaux, même en cas de problème (appel d'offres infructueux, avis défavorable de la CSM, etc.).

L'optimisation du planning incite à diminuer le plus possible le nombre de marchés.

La résolution des problèmes de sécurité et d'or-

Mise en œuvre du soutènement provisoire

Implementation of the temporary supports



Le dimensionnement local du soutènement provisoire c'est-à-dire son adaptation aux terrains très variés rencontrés à Toulon, a été piloté en fonction des résultats de mesure des tassements de surface. L'évolution du tassement des points de surface situés entre 80 m et 20 m à l'avant du front,

grand chantier

Michel Levy
DIRECTEUR
Setec TPI



ganisation des secours, la mise sur pied et la formation d'une équipe d'exploitation, demandent beaucoup de temps et impliquent de nombreux partenaires. Il est donc souhaitable de prendre en compte ces problèmes dans le planning général, dès le début de l'opération, avec les marges nécessaires.

■ ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION

Toute opération qui dure longtemps, court le risque d'avoir à faire face à une évolution de la doctrine ou de la réglementation.

Dans le cas du tunnel de Toulon, la circulaire du 25 août 2000 sur la sécurité des tunnels routiers, consécutive à l'incendie du tunnel du Mont Blanc, a eu des conséquences importantes, d'autant plus qu'elle s'est cumulée avec la nécessité de mettre en service un seul des deux tubes prévus au stade final, et d'exploiter pendant une durée

assez longue avant la mise en service du deuxième tube.

Pour limiter ce risque, il n'y a pas grand-chose à faire, sinon de recommander de raccourcir le plus possible le temps qui s'écoule entre le début des travaux "irréversibles" et la mise en service, ce qui implique d'étudier l'ensemble des aspects du projet (y compris équipements, sécurité secours, exploitation) avant de figer le projet par des travaux "irréversibles".

■ CONCLUSION

Après avoir été ralenti par plusieurs difficultés, le déroulement des travaux après la reprise de 1998 a démontré que des équipes motivées et compétentes, travaillant dans un bon esprit de coopération et soutenues par un maître d'ouvrage et des partenaires financiers animés par une même volonté de faire aboutir le projet, parviennent à surmonter toutes les difficultés techniques dans les meilleures conditions.

ABSTRACT

The lessons of a major project

M. Levy

The excavation of Toulon tunnel after 1998 contributed to the development of safe methods relevant when the surface buildings are sensitive to settlements and when the geology is very variable along the tunnel :

- full-section with a temporary support completed close to the face, Vault support ahead of the face and face support using long bolts ;
- soil treatment using boreholes driven for the longitudinal bolts and using the same grouting plant as for grouting the bolts, in order to dry the face and to limit the settlement of the surrounding layers of soil ;
- temporary support adapted by using the surface settlement measurements ahead of the face ; the measures are instantaneously communicated by e-mail to the consultants and experts involved.

RESUMEN ESPAÑOL

Las enseñanzas de una gran obra

M. Levy

La excavación del túnel de Toulon, que dio comienzo en 1998, ha permitido desarrollar métodos sumamente seguros, en los casos en que la edificación en superficie es densa y sensible a los asentamientos y en los casos en que la geología es muy variable :

- excavación en sección total, apuntalamiento cerrado cerca del frente de ataque, presostenimiento de la bóveda y contención densa del frente de ataque mediante pernos de gran longitud.
- tratamiento del terreno, a partir de las perforaciones de pernos de frente de ataque o de prebóveda, utilizando para ello el mismo equipo mecánico que por sellado, con objeto de desecar el frente de ataque y eliminar los asentamientos ;
- determinación del sostenimiento a partir de asentamientos medidos en la parte delantera del frente de ataque y transmitidos en tiempo real por e-mail a los diversos consultores y expertos.

Une fabuleuse aventure

Les ouvrages ont une âme : l'automobiliste qui emprunte une infrastructure routière ne perçoit qu'une succession d'ouvrages inertes, qu'il juge à l'aune de ses besoins d'usager, portant éventuellement une appréciation sur le confort ressenti, voire sur l'apparence esthétique si son humeur impatiente lui en laisse le loisir. L'ouvrage est là : du béton, de l'acier, des équipements... Tout cela est froid, mort, tout simplement utile. Et pourtant, ces ouvrages ont une âme, une mémoire, des émotions, des joies, des peines, des souffrances, des incertitudes... bref, ils ont une vie. Comme tout être vivant, ils ont naturellement été conçus...

Michel Bruère, Bernard Saint-André, André Gillet, Georges Bornand, Marcel Georges, Alain Chabert : telle est la chaîne – une partie de la chaîne – des ingénieurs chargés de l'Arrondissement de Toulon qui ont dirigé la maîtrise d'œuvre du fabuleux ouvrage qu'est la traversée souterraine de Toulon. Comme le big-bang originel, la petite graine initiale remonte vraisemblablement encore plus en avant dans le temps, à cette époque où Toulon n'était desservie que par quelques menues routes nationales - RN8, RN98, RN97 - et où quelque héritier de la civilisation romaine se prit à imaginer une autoroute traversant l'agglomération de bout en bout.

De la conception à la gestation puis la mise au monde, cette somme impressionnante d'énergie, d'ingéniosité, de conviction, qui fût déployée au bénéfice d'une idée, d'un concept qui devint petit à petit réalité, relativise finalement le rôle de chacun, et plus qu'un sentiment légitime d'orgueil, laisse au bout du compte une impression positive d'humilité.

Quand Michel Bruère – dans le rôle de directeur départemental cette fois-ci – m'appela fin 1990 pour prendre en charge la maîtrise d'œuvre de ce qui sera l'un des plus grands chantiers du ministère de l'Équipement, j'étais loin d'imaginer la somme d'émotions qui m'attendait, tant dans la succession des événements que dans la richesse inattendue des rencontres humaines qui ont jalonné cette fabuleuse aventure.

D'autres ont décrit l'ouvrage sous ses divers aspects techniques : il me plaît quant à moi de rouvrir un instant l'album de famille et de vous en commenter quelques photos.

Tout d'abord, la concertation : on ne greffe pas une telle infrastructure en site urbain sans provoquer de gêne ou de désordre. Les opérations d'isolation phonique furent notamment le début d'un dialogue permanent avec la population, et la patience et le dévouement de Claude Coussirou et Jean-Paul Praneuf furent des modèles de diplomatie efficace.

Il a ensuite fallu expliquer, justifier sans cesse auprès des populations concernées, et notamment de leurs représentants qu'étaient les présidents des Comités des intérêts locaux – CIL – avec lesquels s'est instauré un véritable dialogue. C'est ainsi que Robert Macias, Martine Bérard et le regretté François Andréani devinrent de véritables acteurs au sein de la maîtrise d'œuvre de l'opération.

Leurs conseils, issus des remontées locales, permirent ainsi de prendre en compte, en cours de travaux, les propositions des usagers dont les vies quotidiennes furent pour un temps très profondément modifiées.

Les compétences : l'équipe de maîtrise d'œuvre qui compta au total plus d'une cinquantaine de personnes, se constitua progressivement en agrégeant autour du noyau initial constitué par Jean-Pierre Durand et ses deux adjoints Serge Bruno et Jean-Jacques Davin, les compétences techniques tellement spécifiques que requiert le métier des travaux souterrains : Roger-Michel Baroni, qui fut chargé d'engager les tout premiers travaux dès l'automne 1991, en déplaçant les réseaux urbains qui se trouvaient dans l'emprise des énormes balafres qui allaient ouvrir les deux entrées de la ville, et qui dirigea également la construction de l'unité de ventilation Castignaud; Georges Teisseire, qui rejoint l'équipe plus tard, chargé du délicat dossier du suivi des tassements de surface et de gestion, avec Guy Bouricha, du bâti situé dans l'environnement supérieur du creusement du tunnel sous la ville.

Les deux "moustachus" de campagne : Guy Delrieu et Michel Antone, se chargèrent de la surveillance des travaux de surface, de jour comme de nuit...

L'équipe de surveillants de travaux du tunnel, sous la houlette du troisième moustachu, Sylvain Thobois, adopta avec passion et durant de longues années un rythme de vie tellement inédit dans le monde de la fonction publique, travaillant de jour comme de nuit, les week-ends et jours fériés, et le reste du temps, si encore nécessaire!

Cette conscience professionnelle, cette disponibilité volontaire sans faille méritent aujourd'hui d'être saluées, étant passées inaperçues et naturelles à l'époque dans l'énorme ampleur du projet.

Michel Bruère, Guy Descombes, Jean-Pierre David, Jacques Montagard, Guy Janin, Michel Mermet, Joël Chatain tinrent tour à tour le rôle difficile et délicat de représentant de la maîtrise d'ouvrage. Même Christian Leyrit, Directeur des Routes, dut intervenir personnellement pour prendre les décisions stratégiques qui incombaient au représentant suprême de l'Etat.

Un souvenir parmi d'autres : les ROT (réunions d'orientation technique). Après l'effondrement du 15 mars 1996 et la kyrielle sans fin d'expertises

humaine

Marcel Georges



INGÉNIEUR EN CHEF
DES PONTS
ET CHAUSSÉES
DIRECTEUR GÉNÉRAL
ADJOINT DES SERVICES
Conseil général des Alpes-Maritimes

et d'audits que dût subir l'opération, la reprise des travaux de creusement s'accompagna nécessairement de la mise en place d'un dispositif de renforcement technique permettant, grâce à des réunions mensuelles (les ROT), d'apporter un appui collégial aux décisions particulièrement difficiles à prendre pour le pilotage de cette phase de chantier qui fut reconnue par les participants comme l'une des plus délicates au monde. C'est ainsi que dans les locaux préfabriqués de la Rode, s'affrontèrent périodiquement les esprits les plus avisés, les plus expérimentés, les plus professionnels de ce petit monde singulier qu'est celui de la géologie et de la géotechnique des travaux souterrains en milieu meuble.

Les thèses de Pascal Dubois (du Cetu), de Marcel Rat (du LCPC), de Jean-François Serratrice et Philippe Quemard (du Cete Méditerranée), complétées par celles de Michel Levy (de Setec) dans son rôle d'assistant du maître d'ouvrage, ont ainsi pu atteindre des sommets dans la recherche théorique appliquée opérationnellement à un terrain qui manifestement n'avait pas cru bon de recevoir la même éducation.

Et quand l'Administration s'était exprimée, c'était au tour des représentants de l'entreprise de développer leurs propres thèses : Gérard Vertut, Patrick Rolandetti et leur conseil Alain Guilloux, sans oublier l'inénarrable Niem avec ses successions de "canards, de poulets et d'autruches", censées illustrer d'obscurités courbes tomographiques au cœur des paléofontis.

Fort heureusement, le buffet froid cordialement partagé, en début d'après-midi, a la plupart du temps permis à notre petite trentaine de sommités expertales d'opter pour la solution optimale. Généralement celle du bon sens.

La communication : une telle opération nécessite un énorme investissement en terme de communication.

Avec la collaboration efficace de Gérard Calvesi, un partenariat permanent fut mis en place avec les médias locaux : Léa, journaliste passionnée toujours avide d'informations nouvelles, RTL avec qui furent organisées des heures et des heures de débat en direct sur l'antenne, les très nombreuses séances d'information organisées dans les différents points d'accueil du chantier, en faveur des riverains, "notre voisin de palier", les usagers, les professions concernées de près ou de loin par nos activités, les scolaires passionnés par les exposés

géologiques de Jean-Paul Praneuf, l'ensemble des collègues du service, intéressés au premier degré par la qualité du travail. Sans oublier les collègues des services techniques de la ville de Toulon, André Gillet, Michel Arlac et Christian Lhopiteau, dont la collaboration fut si précieuse. Il y eut aussi les fantastiques journées portes ouvertes, à l'occasion desquelles plus de 50 000 Toulonnais purent pénétrer dans les profondeurs de l'excavation souterraine, accueillis par les "hôtesse maison" : Chantal Bougon, mon assistante, et Josiane Marchand, celle de Jean-Pierre Durand, et l'ensemble des amis du service toujours volontaires et passionnés par ces rencontres conviviales.



Cérémonie à l'occasion de la Sainte Barbe

Ceremony on the occasion of the Sainte Barbe festivities

La Sainte Barbe : patronne des mineurs, elle fut fêtée régulièrement tous les 4 décembre et donna naturellement lieu aux joyeuses agapes qui cimentent la solidarité de la confrérie des mineurs au sein de laquelle j'eus l'honneur d'être admis – ma lampe de mineur anti-grisou trône toujours dans mon bureau. Une petite cérémonie très sobre, présidée par le curé de la paroisse locale devant la statuette mariale figurant sainte Barbe, plaçait sous le regard et la protection de celle-ci la sécurité de l'ensemble des acteurs, et ceux qui, croyants – comme moi-même – ou non croyants y ont assisté, se souviendront qu'aucun accident corporel grave ne fut à déplorer sur l'ensemble de ce périlleux chantier.

Au cours de cette fabuleuse aventure j'ai pu faire ainsi la connaissance des personnes nommées précédemment, et de nombreuses autres que je m'excuse de ne pas avoir citées.

Ce sont pour la plupart devenus des amis.

Le viaduc de Millau

Des procédures novatrices exceptionnelles

Les lecteurs de notre revue connaissent bien la très belle réalisation que constitue le viaduc de Millau, présenté notamment dans ses numéros de décembre 1990, avril 2002, février et décembre 2003.

Ouvrage exceptionnel sur le plan technique, le viaduc de Millau a également été l'occasion de nombreuses innovations en matière de procédures, que ce soit au stade du choix du tracé et de la conception de l'ouvrage, à celui du cahier des charges de la concession, à celui enfin du montage de la concession et de la négociation entre le concessionnaire pressenti et l'administration. Il est apparu utile de présenter à la communauté des maîtres d'ouvrage, des concepteurs, des financiers et des juristes spécialisés les solutions adoptées à chacune de ces étapes et de leur faire vivre avec ceux qui en ont été les principaux acteurs le quotidien de cette exceptionnelle réalisation.

C'est l'objectif visé par la commission technique de la Fédération nationale des Travaux publics, le comité génie civil du Conseil national des Ingénieurs et Scientifiques de France et l'Association française du Génie civil en organisant le 2 octobre 2003 dans la salle du centenaire de la FNTF trois exposés suivis de débats sur le thème "Le viaduc de Millau, des procédures novatrices pour un ouvrage exceptionnel". Placée sous la présidence de Patrice Parisé, tout nouveau directeur des routes, cette conférence a attiré un très nombreux public.

Nous sommes heureux de présenter dans les pages qui suivent les trois exposés ainsi que le compte rendu des discussions, en précisant que le comité de préparation de la conférence était constitué de Messieurs François Vahl, président de la commission technique de la FNTF, Henri Thonier, directeur technique de la FNTF, Jean Berthier, président du comité technique du CNISF, François Perret, président de l'AFGC et Pascal Lechanteur, adjoint du sous-directeur des ouvrages concédés à la direction des routes.

Les choix initiaux et le projet

Jean-François Coste
INGÉNIEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
HONORAIRE

Le viaduc de Millau représente le principal maillon manquant de l'autoroute A75 qui relie Clermont-Ferrand à Béziers. Cet axe majeur du plan routier du Massif Central lancé en 1975 par Valéry Giscard d'Estaing, a fait l'objet d'engagements spécifiques de l'Etat pour aménager une autoroute hors péage inscrite en tant que liaison assurant la continuité du réseau autoroutier (LACRA) aux schémas directeurs des routes nationales (SDRN) de 1988 et 1992. Il répond à un triple objectif :

- ◆ promouvoir les régions traversées sur les plans économique et touristique ;
- ◆ être un grand axe à l'échelle nationale ;
- ◆ offrir un axe international pour aller du nord-ouest de l'Europe vers l'Espagne et la Méditerranée.

Le long d'un parcours de 340 km, l'autoroute A75 traverse sur près de 250 km un relief montagneux à une altitude moyenne de 700 m et culmine à 1 121 m au col des Issartets. Elle doit franchir les vallées par de nombreux ouvrages dont plusieurs sont des ouvrages remarquables par leur conception et leur esthétique. Ces ouvrages ont été le fruit d'une collaboration fructueuse entre ingénieurs et architectes (figures 1 à 7).

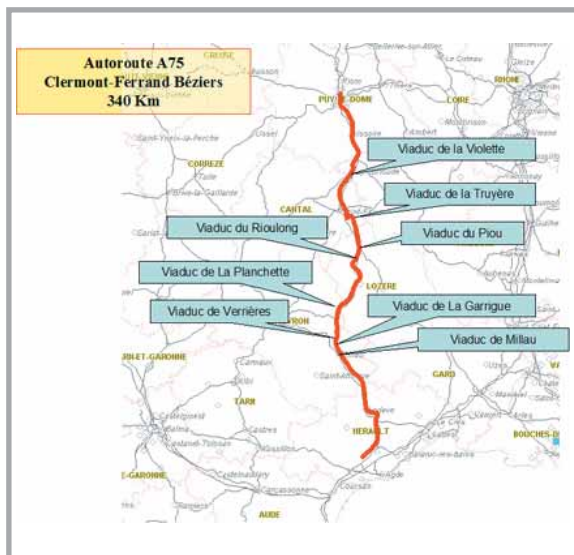


Figure 2
Le viaduc sur la Truyère (Cantal), près du pont de chemin de fer de Garabit. Conception : Europe Etudes Gecti (EEG) et le Centre d'études technique de l'Équipement (CETE) Rhône Alpes. Architecte : Alain Spielmann. Maître d'œuvre : AIOA. Construction : Grands Travaux de Marseille (GTM) et Dumez

The viaduct over the Truyère (Cantal), near the Garabit railway bridge. Design : Europe Etudes Gecti (EEG) and Centre d'études technique de l'Équipement (CETE) Rhône Alpes. Architect : Alain Spielmann. Project manager : AIOA. Construction : contractors Grands Travaux de Marseille (GTM) and Dumez

Une structure spécifique, l'Arrondissement interdépartemental des ouvrages d'art (AIOA), a été mise en place en 1989 sous la conduite de George Gillet, pour monter localement les projets de ponts et tunnels et assurer la maîtrise d'œuvre de leur construction, avec l'appui du réseau technique et sous le contrôle du Setra.

Mais c'est certainement le franchissement du Tarn à proximité de la ville de Millau qui représente le défi le plus important tant sur le plan technique qu'institutionnel.

Nous présentons ci-après les cheminements et les procédures qui ont conduit successivement :

- ◆ au choix du tracé du contournement de Millau ;
- ◆ à l'adoption d'un ouvrage unique franchissant la vallée du Tarn ;
- ◆ à l'élaboration du projet retenu avant sa mise en concession.

Figure 1
L'autoroute A75 et situation de quelques ouvrages remarquables
The A75 motorway and location of several remarkable structures

pour un ouvrage



Figure 5
Le viaduc de la Planchette (Lozère). Conception : AIOA et Setra. Architecte : Pierre Million. Maître d'œuvre : AIOA. Construction : Baudin Chateauneuf et Léon Ballot



Figures 3 et 4
Les viaducs du Piou et du Rioulong (Lozère). Conception : bureaux d'études Secoa, Sofresid et SEE. Architecte : Philippe Fraleu. Maître d'œuvre : AIOA. Construction : Quillery

The Piou and Rioulong viaducts (Lozère). Design : engineering offices Secoa, Sofresid and SEE. Architect : Philippe Fraleu. Project manager : AIOA. Construction : contractor Quillery



Figure 6
Le viaduc de Verrière (Aveyron). Conception : Setra. Architecte : André Mascarelli. Maître d'œuvre : AIOA. Construction : Spie Batignolles, Dodin, Razel et Buyck

The Verrière viaduct (Aveyron). Design : Setra. Architect : André Mascarelli. Project manager : AIOA. Construction : contractors Spie Batignolles, Dodin, Razel and Buyck



Figure 7
Le viaduc de la Garrigue (Aveyron). Conception : CETE Méditerranée. Architecte : Alain Spielmann. Maître d'œuvre : AIOA. Construction : DV Construction et Richard Ducros

The Garrigue viaduct (Aveyron). Design : CETE Méditerranée. Architect : Alain Spielmann. Project manager : AIOA. Construction : contractors DV Construction and Richard Ducros

■ LA RECHERCHE D'UN TRACÉ POUR LE CONTOURNEMENT DE MILLAU, UN CHOIX CONCERTÉ AVEC LES ÉLUS LOCAUX (1988-1990)

Le relief des Causses, barré par la vallée profonde du Tarn, constitue un obstacle dont le franchissement par une autoroute s'est avéré particulièrement difficile (figure 8). Dès 1988, ingénieurs et géologues ont recherché un passage qui satisfasse à la fois des conditions de faisabilité et une bonne desserte de Millau.



Figure 8
Site du franchissement de la vallée du Tarn à Millau

Site of the Tarn Valley crossing at Millau

Figure 9
Les quatre options
de franchissement
de la vallée du Tarn
*The four options
for crossing
the Tarn Valley*

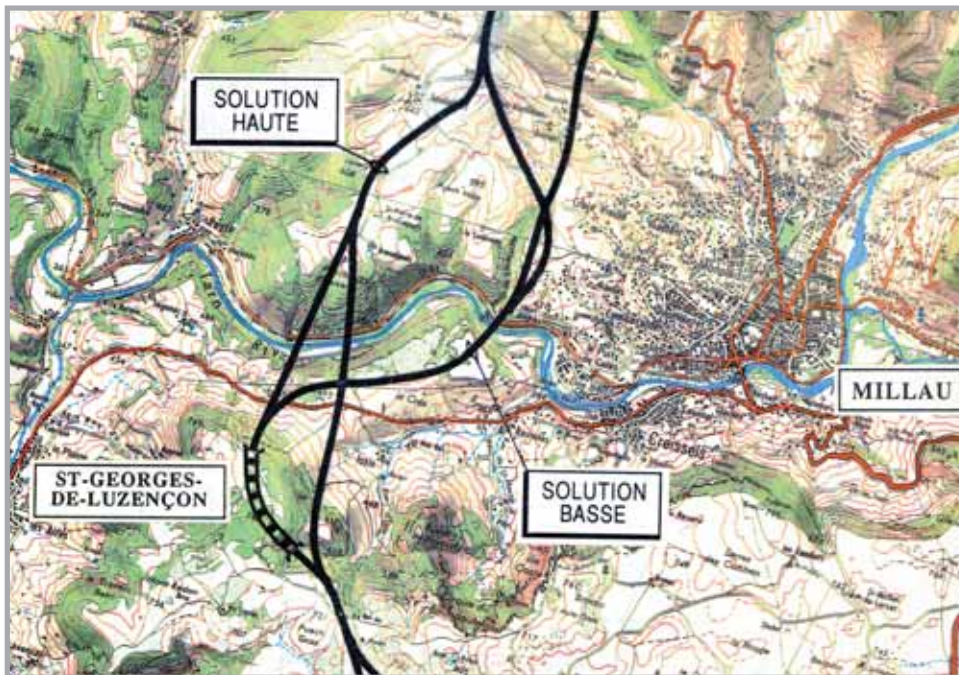
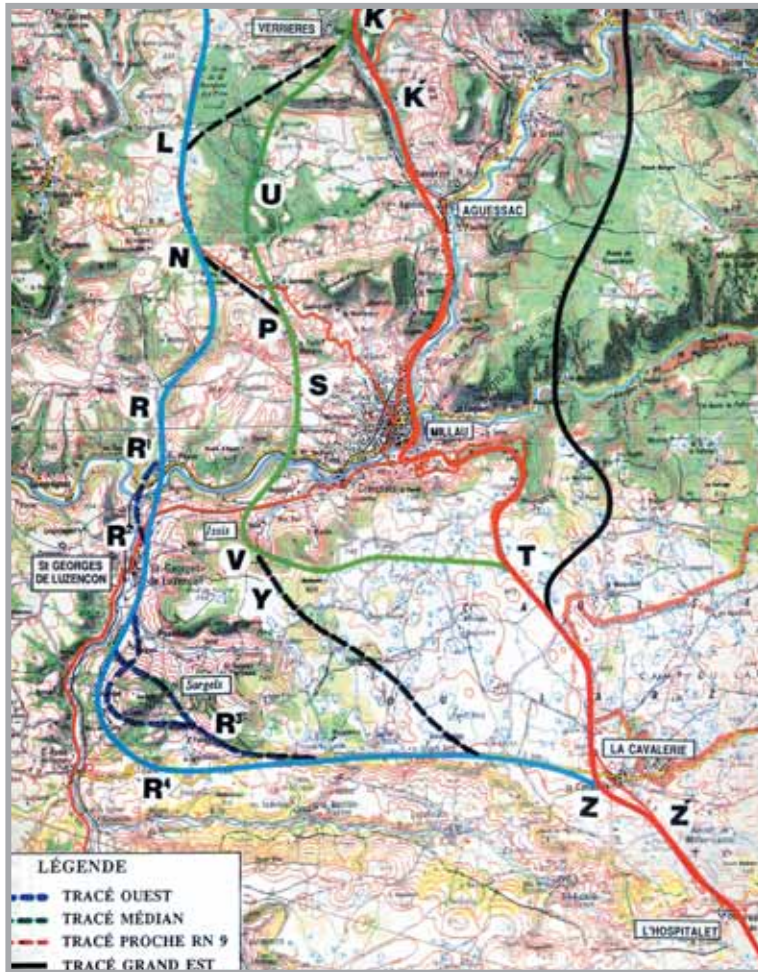


Figure 10
Tracé des solutions
haute et basse
*Layout of the high
and low solutions*

Quatre options de passages furent examinées au cours des années 1988-1989 (figure 9) :

1. Une option "Grand Est" prévoyait un franchissement des vallées du Tarn et de la Dourbie par deux grands ponts suspendus de 800 à 1 000 m de portée. Cette option avait deux inconvénients majeurs, la traversée de sites exceptionnels et une mauvaise desserte de la ville de Millau. L'association "Sauvons la vallée de la Dourbie de l'A75" s'est opposée au tracé qui n'a pas reçu non plus le soutien des élus ;

2. Une seconde option "proche de la RN9" consistait à passer depuis le nord à la limite Est de Millau, puis après avoir franchi le Tarn à remonter au sud sur le plateau du Larzac. Cette option permettait une bonne desserte de Millau mais présentait de nombreuses contraintes techniques et des pentes trop fortes, pénalisantes pour le trafic lourd. En outre, cette solution avait un fort impact sur le milieu urbain. Elle a dû être abandonnée ;

3. Une option "Grand Ouest" empruntait la vallée du Cernon et contournait la partie nord-ouest du Causse. Plus longue que les solutions précédentes d'environ 12 km, elle passait à hauteur des villages pittoresques de Peyres et de Saint-Georges-de-Luzençon avec pas moins de quatre viaducs. Ce tracé a très vite reçu l'opposition des villages concernés ; de plus il rallongeait le trajet sans desservir commodément Millau ;

4. Une option "médiane" à l'ouest de Millau partait du nord depuis le village de Saint-Germain, traversait le Tarn pour rejoindre le plateau de France puis remontait en direction du plateau du Larzac. Cette solution a bénéficié d'une approbation des autorités locales qui s'étaient faites à l'idée d'un contournement de Millau permettant une liaison facile avec leur ville tout en préservant des nuisances de la circulation.

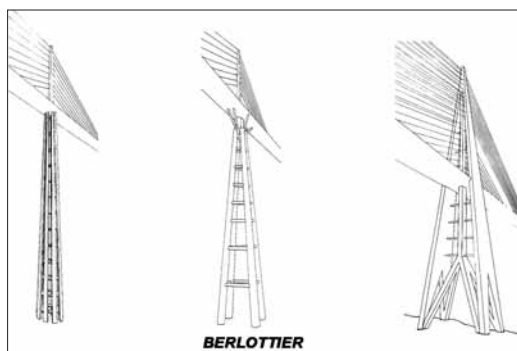
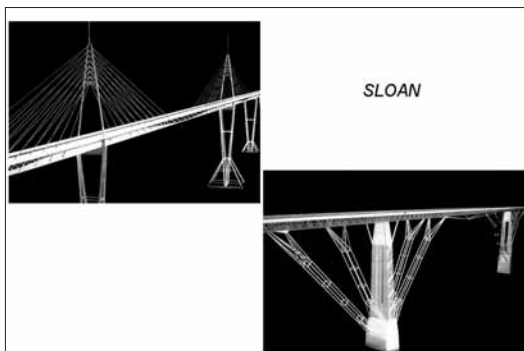
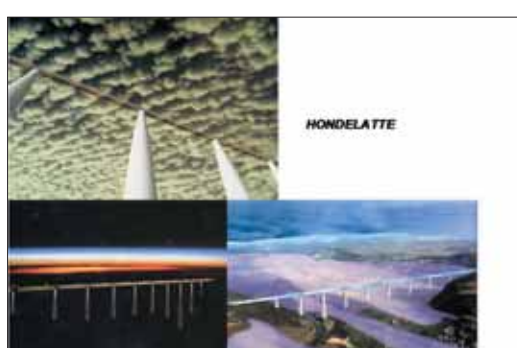
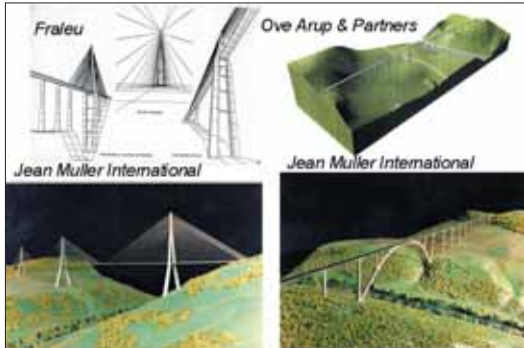
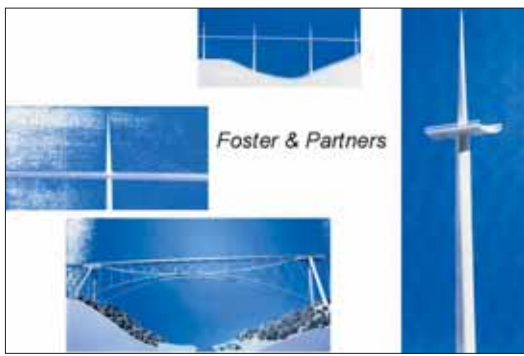
Ce tracé rencontrait cependant de sérieuses difficultés géologiques, notamment au droit du Tarn. La faisabilité technique de ce dernier tracé a été confirmée grâce à l'intervention de deux experts, Marc Panet, géotechnicien et Marcel Rat, géologue (LCPC).

C'est ce tracé "médian" qui a été finalement retenu dans son principe par décision ministérielle du 28 juin 1989. Cette décision a demandé cependant d'approfondir les études du tracé, le profil en long et le type d'ouvrage à retenir.

■ LE CHOIX DE L'OUVRAGE, UNE SÉLECTION DIFFICILE ET RÉFLÉCHIE (1991-1996)

Deux familles de solutions techniques ont été longuement analysées par le CETE Méditerranée, soit en descendant dans la vallée – solution basse –, soit en restant au-dessus de la vallée – solution haute (figure 10).

La solution basse consistait à descendre dans la vallée, franchir le Tarn par un ouvrage de 600 m de portée puis à rejoindre le plateau du Larzac par un viaduc long de 2 330 m prolongé par un tunnel. Finalement, il est apparu préférable de franchir la brèche sur près de 2 500 m directement par un ouvrage unique surplombant le Tarn d'environ 270 m (solution haute), plutôt que d'arpenter la vallée par une succession d'ouvrages. Cette solution a été jugée la plus directe pour limiter les impacts sur l'environnement et l'urbanisme. Elle ménageait en



Figures 11 à 16
Solutions proposées
par bureaux d'études
et architectes

*Solutions proposed
by engineering offices
and architects*

ETUDES PRÉLIMINAIRES :
LISTE DES BUREAUX
D'ÉTUDES
ET ARCHITECTES
CONSULTÉS

8 bureaux d'études :

- Europe Etudes Gecti (EEG)
- Jean Muller International (JMI)
- Ove Arup and Partners
- Secoa
- Setec TPI
- Sofresid
- Sogelerg
- SEEE

7 architectes :

- Jean-Vincent Berlottier
- Jacques Hondelatte
- Norman Foster & Partners -
Chapelet Defol Mousseigne
- Philippe Fraieu
- Denis Sloan
- Francis Soler
- Alain Spielmann

même temps un accès suffisamment rapide vers la ville de Millau par l'échangeur de Saint-Germain. Elle a reçu un accueil favorable des élus locaux.

Jean Berthier, alors directeur des Routes, a été convaincu par Michel Virlogeux de la pertinence de la solution et la décision ministérielle du 29 octobre 1991 a retenu cette "solution haute". Cependant Paul Quilès alors ministre de l'Équipement, a souhaité des études complémentaires.

Au cours de l'année 1992, l'équipe du Setra, pilotée par Michel Virlogeux, a donc poursuivi ses investigations en étudiant sept types d'ouvrages sélectionnés après avoir passé en revue huit familles de solutions incluant les variantes béton ou métal. Ces études préliminaires ont permis de valider la faisabilité d'un ouvrage franchissant la vallée à lui seul. Elles ont conduit à la décision ministérielle du 12 juillet 1993. Cette décision a approuvé l'avant-projet sommaire du contournement de Millau et le franchissement de la vallée par un ouvrage unique de 2 460 m de long surplombant le Tarn à environ 270 m. A cette fin, elle a retenu quatre grands types d'ouvrage pour des études préliminaires :

- ◆ une grande travée au-dessus du Tarn de 280 m avec un tablier en béton précontraint de hauteur variable et des travées d'accès de hauteur constante de 150 m de portée ;
- ◆ la même solution mais avec un tablier métallique ;

◆ des travées haubanées de 320 m de portée, comportant un tablier en béton de hauteur constante ;

◆ une grande travée haubanée de 400 m de portée et des travées d'accès de 170 m de portée avec tablier métallique de hauteur constante.

Compte tenu des enjeux techniques, architecturaux et financiers, Christian Leyrit, alors directeur des Routes, a souhaité élargir le champ d'investigation des solutions envisagées pour le viaduc. Une procédure de marché de définition a donc été engagée mi-1993, avec huit bureaux d'étude sélectionnés parmi 17 candidatures et séparément avec sept architectes choisis parmi 38 candidats (cf. encadré "Études préliminaires"). L'objectif était de dégager un large éventail de solutions techniques à partir des études du Setra. Plus précisément, il leur était demandé de :

- ◆ donner un avis sur les études préliminaires ;
- ◆ proposer de nouvelles solutions ;
- ◆ définir des méthodes de travail pour les études ;
- ◆ présenter des mesures d'aménagement du site.

Cette procédure a rapporté une riche moisson de propositions tant sur le plan technique qu'architectural (figures 11 à 16).

Parallèlement, le directeur des routes a mis en place une mission d'évaluation composée de dix experts internationaux représentant un large spectre de compétences non seulement techniques mais aussi architecturales et paysagères (cf. encadré

LES EXPERTS MISSION D'ÉVALUATION DU VIADUC DE MILLAU

- **Jean-François Coste**, président, ministère de l'Équipement (France)
- **David P. Billington**, professeur, spécialiste de l'esthétique des ouvrages, université de Princeton (USA)
- **Jorg Slaich**, professeur, expert ouvrages d'art (Allemagne)
- **René Walther**, professeur, expert ouvrages d'art, Ecole Polytechnique de Lausanne (Suisse)
- **Alan Davenport**, professeur, expert pour la stabilité aérodynamique des ouvrages, Université d'Ontario (Canada)
- **François Baguelin**, ingénieur, géotechnicien (France)
- **Jean-Claude Foucriat**, ingénieur, expert constructions métalliques (France)
- **Roger Lacroix**, ingénieur expert ouvrages d'art, consultant de la Société Freyssinet (France)
- **Bernard Lassus**, paysagiste (France)
- **Jean Pera**, ingénieur général des ponts et chaussées, ministère de l'Équipement (France)

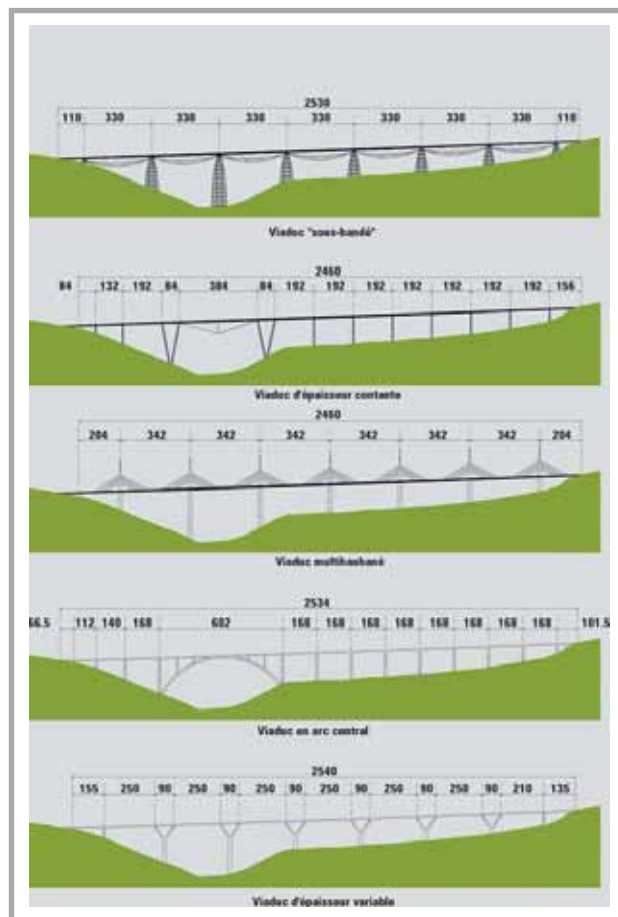


Figure 17
Les cinq familles de solutions mises en compétition
The five competing families of solutions

► "Les experts"). Dans son rapport de septembre 1993, la mission a conclu à la faisabilité de la solution haute au-dessus de la vallée, solution bien adaptée au franchissement du Tarn. Mais elle a estimé indispensable de ne pas s'en tenir a priori au principe de l'ouvrage à travées multiaubanées conçu par Michel Virlogeux. Elle a proposé d'élargir le choix de l'ouvrage en mettant en concurrence des équipes indépendantes de l'administration chargées d'étudier chacune l'une des cinq familles de solutions suivantes sur la base d'un cahier des charges (figures 17) :

1. Viaduc multiaubané (béton ou métal) ;
 2. Viaduc de hauteur variable (béton ou mixte) ;
 3. Viaduc à tablier métallique comportant une ou plusieurs travées sous bandées ;
 4. Viaduc comportant un arc en béton de 600 m de portée avec viaduc d'accès ;
 5. Viaduc de hauteur constante à tablier métallique.
- Ces familles reflétaient deux types contrastés de franchissement : un ouvrage soit suspendu au-dessus de la vallée, soit émergeant du fond de la vallée.

Entre temps, l'impact d'un tel ouvrage avait suscité des réactions jusqu'au plus haut niveau. La proposition des experts allait dans le sens de ne pas laisser l'administration décider seule de l'ouvrage à construire et de s'assurer qu'il respectait le paysage et son environnement.

Par décision du 4 novembre 1994, le directeur des routes a adopté les propositions de la Mission et

A75 Grand Viaduc de Millau Les 5 familles de solution et les équipes d'études.

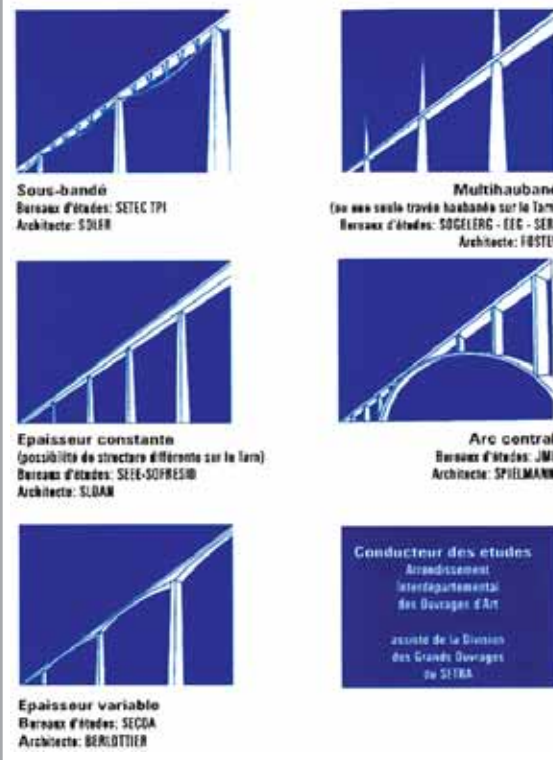


Figure 18
Les projets présentés par les cinq groupements d'études
The projects presented by the five engineering consortia

a constitué cinq groupements en mariant bureaux d'études et cabinets d'architectes (cf. encadré "Les cinq groupements en compétition"). C'est seulement en octobre 1995 que les marchés de définition correspondants ont été notifiés aux groupements, par suite des délais inhérents aux discussions pour constituer des groupements fonctionnels et mettre au point les marchés sur le plan administratif. Entre temps, la déclaration d'utilité publique du contournement de Millau avait été prononcée le 10 janvier 1995.

Les prestations des marchés d'étude se sont déroulées sans intervention du maître d'ouvrage et du conducteur d'opération de façon à garantir l'indépendance et la cohérence des projets. Les groupements ont remis leurs études le 23 avril 1996 (figure 18). La personne responsable du marché au niveau local représentée par le directeur départemental de l'Équipement (DDE), a constitué un Comité technique composé de quatre groupes de travail spécialisés. Ce comité a établi un rapport de synthèse sans se prononcer sur un classement des solutions, en présentant ses conclusions sur :

- ◆ la constructibilité des projets en faisant ressortir les avantages et inconvénients présentés par chacun d'entre eux ;
 - ◆ la nécessité de compléter les études avant d'élaborer un dossier d'exécution ;
 - ◆ la nécessité d'homogénéiser les estimations faites par chaque groupement.
- Cette homogénéisation a été faite, sans modifier

LES CINQ GROUPEMENTS D'ÉTUDES ET ARCHITECTES MIS EN COMPÉTITION

- Bureaux d'études - Architectes*
- Setec TPI - Francis Soler
 - Jean Muller International - Alain Spielmann
 - SEEE & Sofresid - Denis Sloan
 - Sogelerg & EEG & Serf - Norman Foster
 - Secoa - Jean-Vincent Berlotier



Figure 19
Image de synthèse
du projet retenu
*Composite image
of the project selected*

les quantités des estimations, par une société spécialisée qui était déjà intervenue au niveau des études préliminaires.

Conformément au Code des marchés publics, le maître d'ouvrage a constitué une commission composée de représentants de l'Etat, d'élus, d'architectes, d'ingénieurs et présidée par Christian Leyrit, directeur des Routes. Cette commission qui a fonctionné comme un jury, s'est réunie le 12 juillet 1996. Elle a proposé à la majorité absolue, de retenir la solution du viaduc multihaubané présenté par le groupement de bureaux d'études Sogelerg, Europe Etudes Gecti et SERF et le cabinet d'architectes Norman Foster & Partners (figure 19). Ce choix a été dicté par la qualité du projet tant du point de vue technique qu'architectural, le délai de réalisation, et un coût sensiblement inférieur à celui des autres projets présentés. Ce projet offrait aussi la possibilité de mettre en concurrence une solution à tablier en béton précontraint et une solution à tablier métallique, sachant que l'architecte du groupement marquait sa préférence pour une solution à tablier en béton précontraint. La proposition du jury a été entérinée par Bernard Pons, ministre de l'Équipement le 15 juillet 1996.

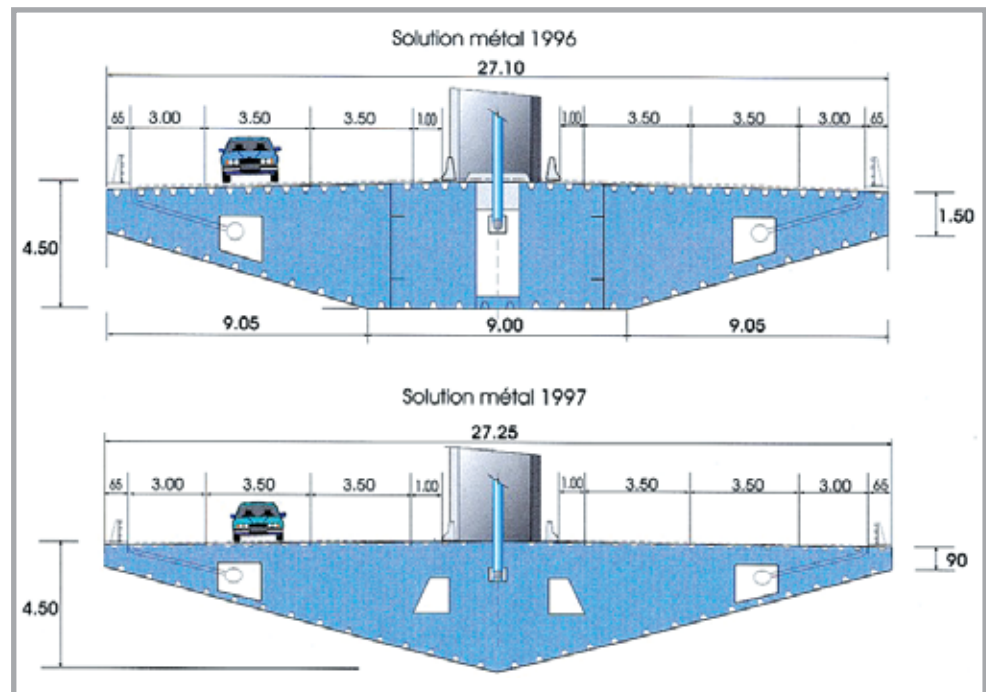


Figure 20
Section trapézoïdale initiale et section triangulaire envisagée
Initial trapezoidal section and planned triangular section

■ L'ÉLABORATION DU PROJET RETENU (1997-1998)

La mise au point du marché d'études avec le groupement retenu a demandé à nouveau une année puisque le marché a été notifié le 1^{er} juillet 1997. Au cours des études faites par le groupement qui se sont déroulées jusqu'à mi-1998, la section triangulaire du tablier adoptée par l'architecte à la place de la section trapézoïdale initiale (figure 20) été remise en cause à la suite d'essais en soufflerie. Elle aurait pu conduire à une instabilité du tablier en béton sous certains effets du vent (figure 21). Il a fallu faire appel à deux des experts de la mission, le professeur Alan Davenport et le professeur René Walther pour finalement décider

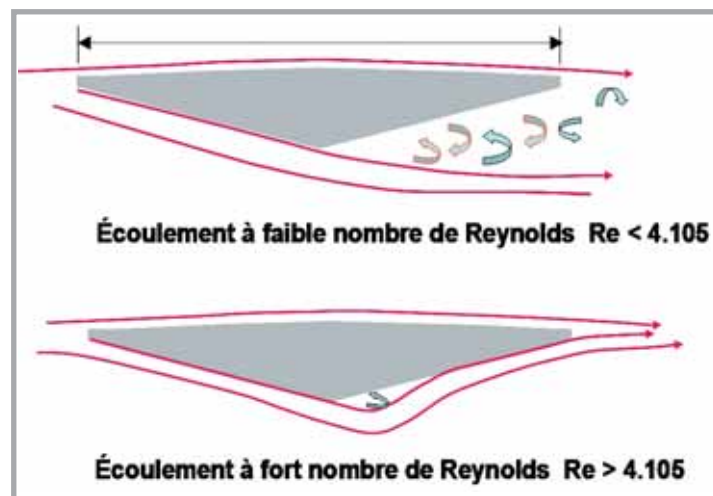


Figure 21
Écoulement
aérodynamique
autour d'une section
triangulaire
*Aerodynamic flow
around a triangular
section*

Figure 22
Vue longitudinale
du viaduc
et sections
trapézoïdales
adoptées

Longitudinal view
of the viaduct
and trapezoidal
sections adopted

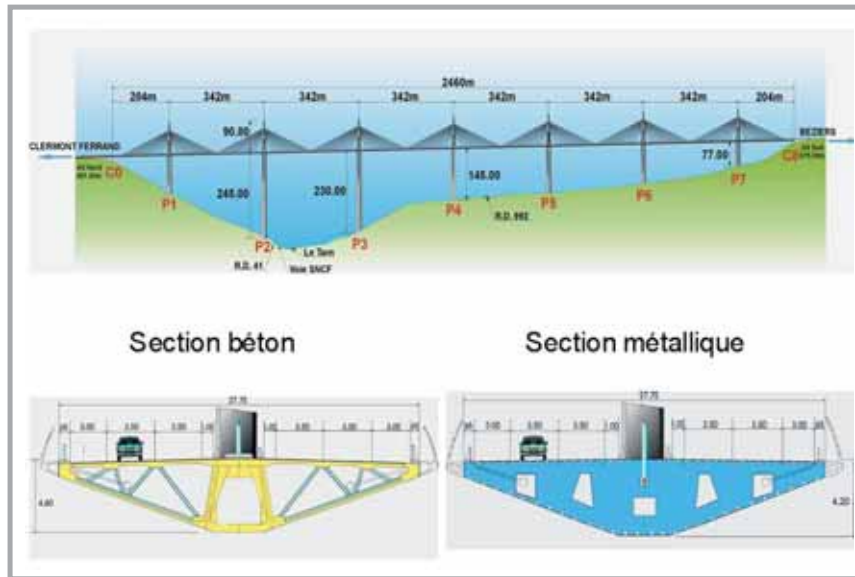
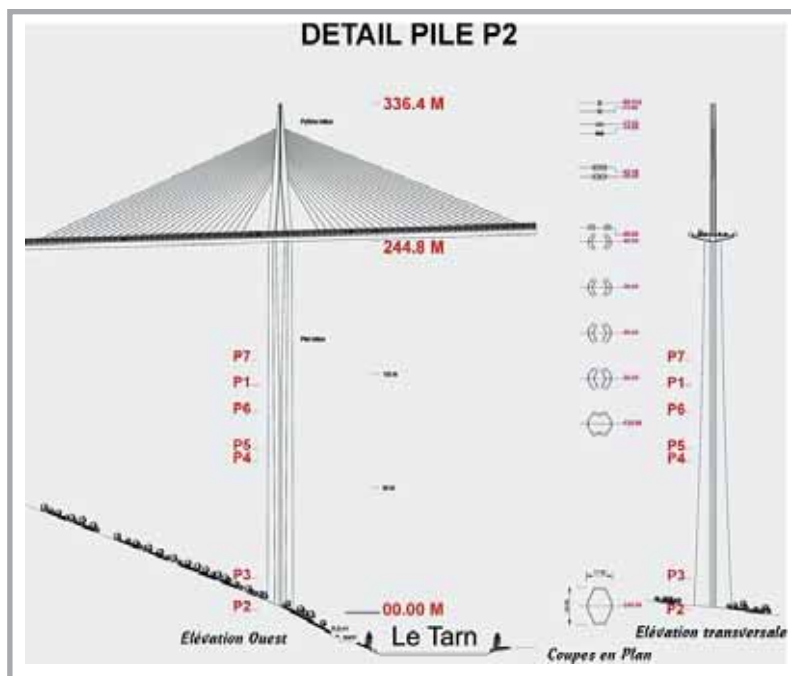


Figure 23
Fût de pile
et pylône

Pier shaft
and tower



de revenir au principe d'une section trapézoïdale du tablier. Toutefois cet épisode a permis d'améliorer la forme de la base du caisson par rapport au dessin initial grâce à un dialogue constructif avec Lord Foster (figure 22). En même temps le dessin des piles a fait l'objet de minutieuses mises au point à l'aide de maquettes de la part de l'architecte et de discussions avec le concepteur. L'apport de Foster a consisté à doubler le fût des piles sur les 90 m supérieurs et à prolonger leur dessin par celui des pylônes au travers du tablier. Ce doublement répond également à une exigence fonctionnelle car il donne la souplesse nécessaire aux piles pour absorber les déformations imposées par le tablier. Le dessin final a été adopté fin 1997, au cours d'une réunion présidée par Christian Leyrit (figure 23). Par ailleurs, sous l'impulsion du paysagiste Bernard Lassus, un soin particulier a été porté à l'insertion de l'ouvrage dans le paysage : traitement des culées et modelé du terrain pour recevoir l'ou-



Figure 24

vrage à ses extrémités, maintien de la végétation au bas des piles, adoption d'un rayon en plan de 20000 m pour une meilleure perception de l'ouvrage par les automobilistes à son approche. Cependant, le 20 mai 1998, alors que le projet avait été mené jusque-là dans le contexte d'une réalisation du viaduc sous maîtrise d'ouvrage de l'Etat, Jean-Claude Gayssot, ministre de l'Équipement annonçait à la presse sa décision de concéder le viaduc de Millau. Cette décision n'a pas remis en cause les études techniques du groupement qui se sont poursuivies jusqu'à fin août 1998 et ont été vérifiées par le Se-tra fin 1998. Par contre, la procédure de déclaration d'utilité publique (DUP) a dû être reprise par une nouvelle enquête consécutive à la mise en concession du viaduc. Cette enquête a abouti à un nouveau décret de DUP le 23 novembre 1999. Il a fallu également mettre au point le cahier des charges de la concession tant sur le plan juridique que technique, avant de lancer la consultation au niveau européen. Cette nouvelle phase de la procédure fait l'objet de la présentation suivante par Patrick Vieux et Pascal Lechanteur. En conclusion, le succès de la procédure adoptée pour l'élaboration du projet du viaduc de Millau résulte de la conjonction (figure 24) :

- ◆ de décideurs éclairés et prêts à adapter les procédures au cas particulier d'un ouvrage exceptionnel ;
- ◆ de concepteurs motivés et experts de haut niveau ;
- ◆ de spécialistes et calculateurs compétents ;
- ◆ d'une ingénierie publique forte et d'une ingénierie privée de qualité ;
- ◆ d'architectes intégrés dans une équipe de conception et ouverts au dialogue ;
- ◆ d'un conducteur des études exigeant et passionné.

En même temps, tous les intervenants se sont montrés déterminés à mener à bien un projet difficile qui a pu mûrir et se bonifier tout au long de plus de 10 années d'études et procédures diverses, souvent innovatrices.

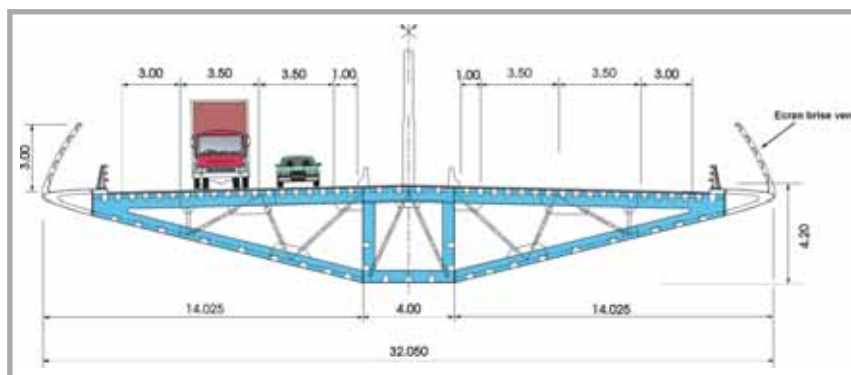
La concession du viaduc de Millau, une nouvelle approche du partenariat concédant-concessionnaire dans le domaine autoroutier

Patrick Vieu

SOUS-DIRECTEUR DES AUTOROUTES
ET DES OUVRAGES CONCÉDÉS
Direction des Routes

Pascal Lechanteur

ADJOINT AU SOUS-DIRECTEUR
Direction des Routes



Au cours de la décennie 1990 le secteur autoroutier a connu cinq évolutions majeures :

1. L'introduction d'une obligation de publicité et de mise en concurrence

Pendant plus de 30 ans, l'attribution des concessions autoroutières a reposé sur une procédure de gré à gré. L'Etat concédant confiait aux sociétés d'autoroutes la construction et l'exploitation des sections nouvelles moyennant un allongement, en tant que de besoin, de la durée de leur contrat de concession : les recettes tirées de l'exploitation des autoroutes les plus anciennes servaient ainsi à financer la construction des nouvelles sections (procédé de l'"adossement").

L'attribution des concessions échappait à toute mise en concurrence¹. Au début des années 1990, la directive "Travaux" et ses textes de transposition² ont introduit une obligation de publicité pour toute nouvelle mise en concession³ : désormais, tout opérateur intéressé peut présenter sa candidature. L'Etat concédant a donc été conduit à mettre en place une procédure de plus en plus formalisée de sélection des candidatures et des offres, respectueuse des grands principes du droit communautaire : non-discrimination, égalité entre les candidats, transparence des procédures de sélection.

2. La fin des subventions croisées, condition à une concurrence égale et ouverte

Le système de l'adossement était incompatible avec les nouvelles règles du jeu : en donnant une "prime" aux opérateurs gestionnaires d'un réseau, il faisait obstacle au libre jeu d'une concurrence loyale et égalitaire entre les candidats. Saisi de cette question par le gouvernement, le Conseil d'Etat a confirmé cette analyse dans un avis du 16 septembre 1999⁴. Désormais, toute section ou ouvrage autoroutier dont les recettes prévisionnelles

sont insuffisantes pour lui permettre d'atteindre l'équilibre peut se voir octroyer des concours publics dans le cadre de la procédure d'attribution de la concession.

3. La banalisation du régime des concessionnaires publics

Ces évolutions ont ouvert le secteur autoroutier à la concurrence européenne et permis l'entrée de nouveaux opérateurs : la concession du viaduc de Millau à une filiale du groupe Eiffage en est la parfaite illustration. Pour mettre les sociétés publiques d'autoroutes à égalité avec leurs concurrents privés dans la compétition européenne, le gouvernement a souhaité banaliser leur régime juridique et comptable, en supprimant la garantie de reprise de passif qui figurait dans leurs cahiers des charges, en allongeant la durée de leurs concessions et en supprimant le régime dérogatoire dit des "charges différées". Les statuts des sociétés autoroutières publiques ont également été adaptés.

4. L'implication croissante de nouveaux acteurs

La réforme du régime d'attribution et de financement des concessions autoroutières a conduit de fait à l'apparition de nouveaux acteurs dans le paysage autoroutier : collectivités locales intéressées au financement des nouvelles opérations, prêteurs et investisseurs, usagers enfin, appelés à prendre une plus grande place dans l'évaluation de la qualité du service rendu.

5. Un rôle nouveau pour l'autorité publique

Enfin, l'Etat demeure bien entendu le gardien de la prise en compte des intérêts publics. Il lui revient notamment de veiller à la bonne exécution du service public et à la stabilité du cadre juridique et réglementaire qui est un élément essentiel pour des partenariats de long ou de très long terme.

C'est dans ce contexte qu'a été lancée la conces-

1. L'Etat avait réalisé, au début des années 1970, une mise en concurrence en même temps qu'il autorisait, pour la première fois, des concessionnaires privés à se porter candidats. Quatre sociétés, dont Cofiroute, se sont alors vues attribuer des sections avant que la crise n'oblige trois d'entre elles à déposer le bilan, deux étant reprises par des sociétés publiques existantes, la troisième, AREA, étant nationalisée.

2. Directive n° 89/440/CEE du 18 juillet 1989, entrée en vigueur le 22 juillet 1990 refondue par la directive n° 93/37/CEE du Conseil du 14 juin 1993 portant coordination des procédures de passation des marchés publics de travaux. Loi n° 91-3 du 3 janvier 1991 et le décret n° 92-311 du 31 mars 1992 portant application de la loi 91-3 et transposition de la directive en ce qui concerne l'Etat. Loi du 29 janvier 1993 modifiée relative à la prévention de la corruption et à la transparence de la vie économique et des procédures publiques, dite loi Sapin, notamment son article 38 et son article 40.

3. Dispositions applicables pour la conception, la réalisation et l'exploitation de tous travaux ou ouvrages d'un montant supérieur à 5 M€.

4. En outre, l'article 40 de la loi Sapin, encadre les conditions d'allongement de durée des concessions.



► sion du viaduc de Millau. Initialement, la construction de l'ouvrage avait été prévue hors péage, comme le reste de l'autoroute A75 entre Clermont-Ferrand et Béziers. Mais l'insuffisance des moyens budgétaires risquant de retarder pour longtemps sa réalisation, le ministre de l'Équipement a décidé, en mai 1998, sa mise en concession. Celle-ci a nécessité une nouvelle déclaration d'utilité publique, intervenue par décret du 23 novembre 1999⁵, et la révision du schéma directeur routier national (SDRN), conformément à la loi du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs (Loti). Le viaduc de Millau est un ouvrage d'art exceptionnel. Long de 2 460 m, il compte huit travées haubanées et sept piles dont la plus haute atteint 245 m. Il culminera à 270 m au-dessus du Tarn. Son tablier métallique, large de 27,70 m accueillera 2 x 2 voies, une bande d'arrêt d'urgence de 3 m, un dispositif de retenue latéral et des écrans anti-vent. Ce parti technique et architectural est celui du bureau Norman Foster & partners et du groupement Sodeteg - EEG - SERF. Le péage sera perçu par une barrière de péage, située à six kilomètres au nord de l'ouvrage, qui comprendra 18 voies. La section comprise entre l'ouvrage et la barrière de péage ne fait pas partie de la concession.

■ UNE PROCÉDURE D'ATTRIBUTION EN TROIS PHASES

1^{re} phase : le lancement de la consultation et la sélection des candidats admis à présenter une offre

La mise en concession du viaduc de Millau a été initiée par la publication d'un avis en décembre 1999 dans plusieurs publications, dont le Journal officiel des communautés européennes. Les entreprises intéressées pouvaient retirer un dossier de renseignements sur l'opération et consulter di-

vers documents techniques : dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique, rapport de la commission d'enquête, synthèse du projet d'ouvrage d'art. Selon le règlement de la consultation, les candidats devaient remettre une offre de base et pouvaient proposer une ou plusieurs variantes, toutes devant respecter les exigences fonctionnelles, architecturales et techniques du projet. Les critères de jugement des offres se répartissaient en critères techniques et en critères financiers. Les critères techniques portaient sur la qualité technique de l'offre, les délais de réalisation, le schéma directeur qualité, les dispositifs de contrôle de la qualité des études, des matériaux et de la construction, l'organisation prévue pour la construction de l'ouvrage (notamment la répartition des rôles entre maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre et entreprises), les modalités d'exploitation et le niveau de service et de sécurité ainsi que les dispositions prévues pour la maintenance, l'entretien et le suivi météorologique. Les critères financiers portaient sur la structure de financement du projet : part de fonds propres apportés, engagement des partenaires financiers, disponibilités pour répondre aux besoins de financement de la construction et aux éventuels dépassements de coûts et de délais, garanties sur la poursuite de l'exploitation en cas de dépassement des coûts prévisionnels ou de recettes insuffisantes, taux de rentabilité attendu, durée de la concession, politique tarifaire et niveau des tarifs de péage proposés. Enfin, étaient pris en compte les engagements éventuellement demandés par le concessionnaire au concédant.

Au 24 janvier 2000, date limite de remise des candidatures, quatre candidats s'étaient déclarés : un groupement Dragados (Espagne), Skanska (Suède) et Bec, un groupement Société du Viaduc de Millau (SVM), Autoroutes du Sud de la France (ASF), Egis, Bouygues Travaux publics, Groupe GTM, SGE, CDC projets, Tofinso et Autostrade SpA (Italie), un groupement Générale Routière, Via GTI, Cintra, Nesso, Acciona et Ferrovial Agroman (Espagne), enfin la société Eiffage qui agissait en son nom et pour son compte et pour le compte de ses filiales Eiffage Construction et Eiffel. Le nombre et la diversité des entreprises intéressées attestaient du caractère ouvert et concurrentiel de la consultation. La première phase de la procédure consistait à arrêter la liste des candidats admis à présenter une offre. L'examen de leurs garanties professionnelles et financières et de leur aptitude à assurer la continuité du service public et l'égalité des usagers devant le service public a été confié à une commission consultative, composée de représentants du ministère de l'Équipement et du ministère des Fi-

5. La déclaration d'utilité publique de 1995 avait été prise sur la base d'un dossier d'enquête ne prévoyant pas la possibilité de percevoir un péage. Le nouveau décret a été publié au Journal officiel du 25 novembre 1999.

nances. La commission pouvait se faire assister d'experts extérieurs, appartenant ou non à l'administration : ingénieurs intéressés au projet, avocats et conseil financier. Dans le cadre de cet examen, la commission a vérifié l'aptitude de chaque candidat à assurer les différentes parties de la mission déléguée, à la lumière de leurs références, de leurs expériences et de leurs moyens. La sous-direction des autoroutes et ouvrages concédés coordonnait les travaux et assurait le secrétariat de la commission. Après avis de la commission, le ministre de l'Équipement, au nom de l'État concédant, a arrêté la liste des candidats admis à présenter une offre. Par lettre du 9 juin 2000, il a invité les quatre candidats à présenter leur offre pour le 21 novembre 2000 à 12 h 00 au plus tard.

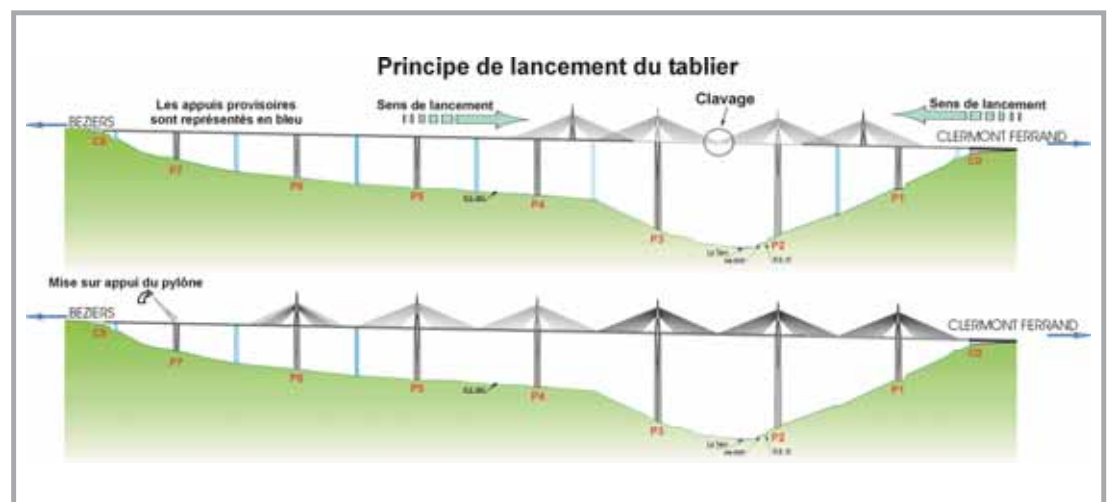
2^e phase : élaboration et jugement des offres

Chaque candidat admis à présenter une offre s'est vu remettre un "dossier de consultation" qui comprenait un "règlement de la consultation", véritable règle du jeu de la compétition, les études techniques relatives au viaduc, les dossiers des enquêtes publiques de 1993 et 1998, le rapport de la commission d'enquête et les dossiers des engagements de l'État. Était joint à ces documents un projet de contrat de concession que les candidats étaient invités à amender et à compléter dans le cadre de la préparation de leur offre. Les propositions de modification et de complément devaient être clairement explicitées et justifiées⁶. La remise d'un contrat de concession standard, qui constituait une première dans ce type de procédure, devait permettre au concédant de mieux apprécier le transfert éventuel de risques et la nature des engagements qui pouvait lui être demandée par les candidats. L'analyse des propositions rédactionnelles des candidats devait favoriser la comparabilité des offres et faciliter la conclusion d'un contrat de concession. Pendant un certain délai, les candidats pouvaient adresser des questions écrites sur la consultation au concédant, celui-ci s'engageant à faire connaître ses réponses à tous les candidats. Au total, une centaine de questions ont été traitées.

Au 21 novembre 2000, trois des quatre candidats avaient remis une offre, le groupement Dragados, Skanska et Bec ayant fait part de sa décision de se retirer de la compétition. La même commission consultative qui s'était prononcée pour avis sur les candidatures a procédé à une analyse approfondie des offres aux plans technique, financier et juridique, au regard des règles et des critères établis

par le règlement de la consultation. A cette fin, elle s'est constituée en groupes de travail – un groupe technique/exploitation, un groupe financier et un groupe juridique. Elle était assistée du cabinet d'avocats Clifford Chance pour l'analyse juridique et du cabinet Price Waterhouse Coopers pour l'analyse financière. Comme prévu dans le règlement de la consultation, la commission a demandé aux trois candidats des éclaircissements et des précisions sur les volets technique et financier de leur offre. Elle a par ailleurs procédé à l'audition de chaque candidat en février 2001.

La commission a rendu son avis le 26 février 2001. Le lendemain, le ministre annonçait sa décision d'engager les négociations avec la société Eiffage, désigné "concessionnaire pressenti", c'est-à-dire candidat auteur de la meilleure offre, sans que pour autant les autres candidats soient éliminés, le concédant se réservant la possibilité d'ouvrir des négociations avec eux.



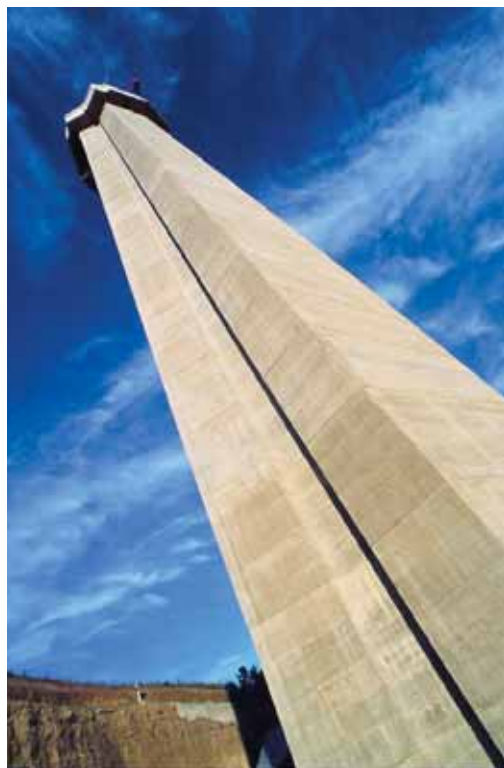
3^e phase : négociation et mise au point du contrat de concession

La négociation et la mise au point du contrat de concession du viaduc de Millau ont été particulièrement rapides puisque la phase de négociation proprement dite a duré moins d'un mois. La remise aux candidats d'un contrat de concession-type a incontestablement facilité l'analyse des offres et permis de gagner beaucoup de temps. Les négociations ont également été facilitées par la qualité technique de l'offre d'Eiffage et par une conception du partage des risques qui rejoignait celle de l'État en se référant essentiellement aux principes dégagés par la jurisprudence administrative. Les négociations avec Eiffage ont abouti le 30 mai 2001 à la signature par cette entreprise du projet de contrat de concession. Le décret, en date du 8 octobre 2001, approuvant le contrat de concession a été publié au Journal officiel du 10 octobre 2001, date d'entrée en vigueur du contrat de concession.

6. Elles ne pouvaient cependant avoir pour objet ou pour effet de remettre en cause les principes essentiels et les principales clauses du projet de cahier des charges.

► LA CONCESSION DU VIADUC DE MILLAU, MODÈLE DU CONTRAT DE CONCESSION DE "NOUVELLE GÉNÉRATION"

La fidélité à l'esprit des concessions : réflexions sur le principe des "risques et périls"



Le principe des "risques et périls", principe traditionnel du droit français des concessions, traduit le fait que le service public objet du contrat est délégué au concessionnaire et que celui-ci "fait son affaire" de l'exécution de la mission qui lui est confiée sous sa pleine et entière responsabilité. Ainsi, l'article 2 de la convention de concession du viaduc de Millau dispose que la CEVM s'engage à financer, concevoir, exploiter et entretenir l'ouvrage concédé, à ses frais, risques et périls, dans les conditions fixées par le cahier des charges annexé à la concession. L'article 22 du cahier des charges de la concession précise de même que le concessionnaire assure à ses risques et périls le financement de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'entretien de l'ouvrage. Certains préfèrent parler de "risques et profits" et regardent le principe des risques et périls comme une notion désuète, reposant sur une conception caricaturale du partage des risques, qui ne serait plus adaptée à la notion moderne de partenariat. Il nous semble pourtant que cette notion, bien comprise, conserve toute son actualité. Elle ne signifie pas que le concessionnaire serait, seul, exposé à l'ensemble des risques d'un projet et ce dans n'importe quelle circonstance. D'une part il y a longtemps que la jurisprudence a aménagé des régimes particuliers venant atténuer ce que pourrait avoir d'excessivement rigoureux un principe de responsabilité absolue et exclusive du concessionnaire. C'est le cas des régimes de l'"imprévision", du "fait du prince" ou de la "force majeure" inspirés très généralement par le souci de garantir au mieux la continuité du service public et que l'on retrouve dans le contrat du viaduc de Millau. D'autre part le concédant supporte une part de responsabilité et de risque, dans la mesure où il est directement intéressé à l'exécution du projet. Corollaire du principe des risques et périls – et autre caractéristique de la concession – le concessionnaire dispose sinon d'une totale liberté, du moins d'une très large autonomie de gestion et d'action. Il est en particulier investi, pour l'acquisition des terrains et l'exécution des travaux dépendant de la concession, de tous les droits que les lois et règlements confèrent à l'Etat en matière de travaux publics⁷.

Le principe des "risques et périls" a pour effet de faire supporter au concessionnaire les conséquences indemnitaires de l'"existence" de l'ouvrage (article 13). La protection contre le bruit, la pollution envi-

ronnementale ou visuelle, les effets qui ont leur source ou leur cause directe ou indirecte dans l'ouvrage relèvent de la responsabilité du concessionnaire. Le principe des "risques et périls" a également une portée financière. Il n'existe nulle garantie d'équilibre financier de la concession. Si la référence à un équilibre financier est utile pour la négociation et la mise au point du contrat de concession, l'Etat ne peut en aucun cas conférer à son concessionnaire une garantie explicite ou implicite d'équilibre ou de rentabilité. Il en va de même pour ce qui concerne les ratios financiers (ratios d'endettement) ou les agrégats comptables du concessionnaire. Certains contrats de concession prévoient encore que le programme de travaux peut être différé ou aménagé au cas où le concessionnaire ne disposerait pas des financements nécessaires ou si le financement de ces travaux portait son endettement à un niveau tel que l'équilibre financier de la concession s'en trouverait compromis. Une telle formule revient indirectement à transférer la responsabilité du financement sur l'Etat puisque c'est lui qui pâtira du retard dans l'engagement et la réalisation des travaux qui sert alors de "variable d'ajustement". Or il s'agit là d'un risque que l'Etat ne maîtrise pas, puisqu'il n'a de prise ni sur la politique d'investissement et de financement du concessionnaire, ni sur le niveau de son endettement ou de son résultat, ni sur la politique de distribution du résultat. Un tel lien entre investissements et ratios financiers pouvait s'expliquer à une époque où la puissance publique intervenait activement dans le financement des autoroutes, sous la forme de subvention, d'avances ou de garanties. Ces pratiques étant désormais révolues, ce lien n'a plus de raison d'être⁸.

On a coutume de définir la règle de partage des risques attachés à la concession par une formule devenue classique : "le risque doit être supporté par le partenaire qui est le plus apte à le maîtriser". Derrière la simplicité apparente de la formule, se cachent de redoutables difficultés d'application. Il est clair en effet que l'intérêt objectif de chaque partie est généralement de prendre à sa charge le minimum de risque, ce qui suppose implicitement mais nécessairement d'en transférer un maximum sur l'autre partie ou sur des tiers (prêteurs, assureurs, constructeurs, voire usagers, etc.). L'Etat concédant attache bien entendu une grande importance à cette idée de partage des risques. Il n'y a pas de formule définitive en la matière et la ligne de partage est susceptible de se déplacer en fonction du cadre juridique et réglementaire, de la pra-

7. Il reste, en même temps, soumis aux obligations qui découlent, pour l'administration, de ces lois et règlements.

8. Au contraire, les nouveaux contrats stipulent que le concédant peut prononcer, par décret en Conseil d'Etat, la déchéance du concessionnaire, si celui-ci n'a pas à sa disposition, ou n'aura pas à sa disposition en temps utile, les fonds nécessaires pour faire face aux différents coûts de l'opération.

tique ou de la jurisprudence, de la stabilité économique du pays, de la nature du projet, du montage financier, mais aussi de l'arbitrage entre risques et coûts. C'est le grand intérêt d'un cahier des charges types que de permettre d'appréhender plus aisément les risques que le candidat entend transférer sur l'Etat (cf. supra).

Enfin, l'approche en termes de "risques et profits" suppose de rémunérer correctement le risque pris. La rémunération doit être "raisonnable", c'est-à-dire proportionnelle au risque. Elle dépend des caractéristiques propres du projet, de la réalité des risques assumés au regard des dispositions contractuelles et de la matrice des risques. Il n'existe pas de vérité absolue en ce domaine, et la référence aux pratiques du marché ne dispense pas d'une analyse des termes du contrat et de la conception sous-jacente du partage des risques.

Quelques données financières sur le contrat de concession du viaduc de Millau

La construction du viaduc de Millau représente un investissement de 320 M€, entièrement pris en charge par le secteur privé, l'Etat ayant d'emblée exclu d'apporter quelque financement que ce soit. Le plan de financement proposé par Eiffage, actionnaire unique de la société concessionnaire créée pour le projet du viaduc de Millau, distingue deux phases. Pour la période comprenant la phase de conception-construction et les cinq premières années d'exploitation (2005-2009), Eiffage garantit de façon inconditionnelle et irrévocable les engagements de la société concessionnaire (CEVM) qui est financée par des capitaux propres intégralement apportés par Eiffage pour un montant de 35 M€ et, pour le solde, par des avances en compte courant garanties par Eiffage. La société concessionnaire prévoit de refinancer, à partir de la sixième année d'exploitation – voire plus tôt si l'opportunité se présente – une partie de son endettement vis-à-vis d'Eiffage par un financement de projet "senior" de type obligataire, plafonné de façon à satisfaire un ratio de couverture de 1,5 par rapport au cash flow prévisionnel à un taux du marché fixé au moment du refinancement. Le reliquat du compte courant sera alors transformé en dette subordonnée des actionnaires. Ce montage repose donc sur la combinaison originale d'un financement en corportate, le "sponsor" du projet (Eiffage), qui détient 99,99 % du capital de la CEVM, garantissant la totalité du financement sur ses fonds propres, et d'un financement de projet classique par refinancement d'une partie de la dette.

La concession est destinée à prendre fin le 31 décembre 2079, soit une durée d'environ 78,5 ans. Cette durée a parfois été jugée excessivement longue. On a ainsi pu lire ou entendre qu'il était impossible aux contractants de prévoir tous les aléas

inhérents à l'exécution de la concession sur une durée aussi longue ou que celle-ci risquait de conférer au concessionnaire une "rente de situation" par la perspective d'une "surrentabilité". S'agissant de la prévisibilité des événements affectant la concession, il ne s'agit évidemment pas de "tout prévoir" sur 78 ans, pas plus, d'ailleurs, que sur 35 ou 40 ans. Il est dans la nature des contrats de concession, signés pour de très longues durées, de devoir faire face à des événements imprévus et imprévisibles au moment de leur signature. Si les événements eux-mêmes ne sont pas prévisibles, la constitution d'un "état d'imprévision" dans la vie d'un contrat de concession passé est, sinon certaine, du moins fort probable. La négociation a pour



vocation d'"intégrer l'incertitude" dans la vie du contrat en prévoyant les mécanismes de correction, d'adaptation ou de régulation nécessaires ainsi que les conditions et limites de leur mise en œuvre au regard du principe de risques et périls et de la jurisprudence. Le traitement des risques – leur appréciation, le partage de leur prise en charge, les conditions et les modalités de leur indemnisation – ne peut, dans le cas des concessions, être défini unilatéralement par le concédant via les documents de la consultation ou par le candidat dans son offre. Chacun a ses impératifs, et c'est l'objet de la "libre négociation" que de faire converger les points de vue en ajustant le contrat aux exigences et contraintes des uns et des autres. Il convient de "laisser vivre" la négociation qui constitue un élément de flexibilité indispensable à ce type de contrat, sans l'enfermer dans des cadres trop stricts.

Quant au risque de sur-rentabilité, les parties ont mis en œuvre un dispositif de fin anticipée de la concession. L'article 36 du cahier des charges prévoit que le concédant peut demander qu'il soit mis un terme à la concession sans aucune indemnité, moyennant un préavis de 24 mois, dès lors que le chiffre d'affaires réel cumulé, actualisé à 8 %, dé-

▶ passe 375 M€. Cette clause ne peut cependant jouer avant le 31 décembre 2044. Il s'agit là d'un exemple de contrat à "durée endogène", variable dans le temps en fonction des résultats de la concession. Ce mécanisme permet d'accorder une durée initiale de concession plus longue sans risque de rente indue. Une durée de concession très longue présente, pour un concessionnaire, deux types d'avantages que l'Etat aurait tort de négliger. D'une part elle accroît la visibilité des partenaires financiers – prêteurs et investisseurs – sur la concession et conforte leur appréciation quant à la sécurité du projet. Nous avons vu que le montage financier de la concession du viaduc de Millau prévoit, au bout de quelques années, un refinancement de la concession, et donc l'appel à des investisseurs extérieurs. La durée de la concession sera, pour ces partenaires, un facteur de sécurité quant à la capacité du concessionnaire à faire face à ses échéances d'emprunt et permettra d'envisager la possibilité d'un refinancement de longue durée.



D'autre part, une durée de concession longue permet au concessionnaire d'étaler dans le temps les charges d'amortissement (amortissements de "capacité" qui sont traités comme des charges financières) et, toutes choses égales par ailleurs, accroît ses chances de distribuer plus tôt du résultat, ce qui a un impact sur la rentabilité du projet. Les actionnaires sont donc intéressés à la longue durée.

Une politique tarifaire originale

Les tarifs de péage prévoient une minoration des tarifs appliqués aux véhicules de classe 1 (VL) et de classe 2 de 10 F TTC (francs constants, valeur 2000) en dehors des mois de juillet et août. En valeur de novembre 2000, les tarifs de péage applicables aux véhicules de classe 1 à la mise en service seront de 6,10 € (40 FF) l'été, et de 4,57 € (30 FF) pour la période hors été. Le tarif applicable aux véhicules de la classe 4 (PL) à la date de mise en service est 19,06 € (125 FF). La modulation

saisonnaire des tarifs de péage sera une première en France. Elle se justifie essentiellement par les écarts prévisibles quant à la demande : d'une part les flux de trafic seront plus élevés en juillet et août du fait des grandes migrations estivales qui verront dans cet axe un itinéraire alternatif à la vallée du Rhône, d'autre part la "clientèle" qui sera amenée à emprunter l'ouvrage durant les deux mois d'été sera très différente des usagers plus réguliers qui circuleront sur le viaduc de Millau le reste de l'année.

Des engagements équilibrés entre les parties

Sans prétendre détailler ici les engagements de la CEVM, on se bornera à en rappeler quatre :

1. Fournir le bon service au bon moment. Cela implique de respecter les délais de mise en service du viaduc (39 mois suivant la parution au Journal officiel du décret d'approbation de la concession), de garantir la disponibilité de l'ouvrage, par exemple en adaptant le nombre de voies en service à la barrière de péage pour ajuster les capacités d'écoulement en fonction du trafic ou en disposant des moyens d'entretien adaptés aux conditions climatiques, d'éviter de perturber la circulation ou de s'efforcer de la rétablir au plus vite en cas d'accident, de bouchon, de travaux, etc. Cela implique également de maintenir l'ouvrage en bon état de service par des visites et des contrôles réguliers (article 14).

2. Participer à l'exploitation touristique du viaduc et contribuer à sa bonne insertion environnementale. Compte tenu de son caractère d'ouvrage exceptionnel, le viaduc de Millau a vocation à devenir un centre d'attrait touristique pour Millau et le département de l'Aveyron. C'est pourquoi le contrat de concession (article 30) prévoit une participation financière du concessionnaire à hauteur de 3 M€ en vue de favoriser, en partenariat avec les collectivités territoriales, l'"exploitation touristique" du viaduc de Millau. Parallèlement, le concessionnaire est appelé à participer avec les collectivités locales à la politique du "1 % Paysage" qui vise à financer des opérations d'insertion de cet ouvrage exceptionnel dans son environnement (article 13).

3. Veiller à l'information du concédant. Une concession ne peut correctement fonctionner que si le concédant dispose de l'information nécessaire. Or les délégations de service public se caractérisent par un phénomène d'asymétrie : les délégataires disposent souvent d'une information plus complète, plus fiable et plus actuelle que celles auxquelles a accès le concédant, ce qui met le contrôleur en position de faiblesse par rapport au contrôlé. C'est pourquoi le suivi et le contrôle de l'exécution des travaux du viaduc de Millau sont assurés par une "Autorité chargée du contrôle" – en fait la mission du contrôle des autoroutes – qui représente le

concedant dans les relations avec CEVM (article 5). Cette Autorité est dotée de prérogatives à la fois étendues et concrètement définies (articles 5, 7, 9). Elle dispose de locaux sur le site de façon à pouvoir suivre l'avancement des travaux sur le terrain, elle organise des réunions mensuelles de coordination avec le concessionnaire, elle a accès à tous les documents relatifs à l'exécution de l'ouvrage et dispose d'un accès permanent à celui-ci. Le contrat de concession fait en outre obligation à CEVM de communiquer au concedant les comptes et le plan de financement de la concession, un rapport annuel sur la qualité du service, un compte rendu annuel d'exécution de la concession ou encore la liste des marchés passés (article 35). Rarement contrat de concession d'ouvrage aura accordé autant d'attention au contrôle de la concession "sur pièce et sur place".

4. Jouer jusqu'à la fin de la concession le jeu du partenariat. Le contrat de concession est un tout. C'est du reste un atout majeur de la concession que de permettre de confier à un même opérateur à la fois la construction, l'exploitation et l'entretien d'un ouvrage dans le cadre d'un contrat unique. Le concedant est en effet d'autant plus assuré de disposer d'un ouvrage de qualité qu'il sait que le constructeur sera comptable de son entretien et de son exploitation. C'est tout l'enjeu des dispositions sur l'évolution du capital introduites en annexe du contrat qui ont pour objet de garantir un minimum de pérennité et de stabilité de l'actionariat de la société concessionnaire. Ainsi Eiffage a-t-il l'obligation de conserver 99,99 % du capital jusqu'au 31 décembre de la quatrième année suivant celle de la mise en service. Le groupe peut ensuite céder librement ses parts jusqu'à 50,1 %, seuil en deçà duquel il ne peut descendre qu'avec l'autorisation écrite du concedant.

A son tour, le concedant doit respecter un certain nombre d'engagements. Il en va ainsi, par exemple, de la remise des terrains et ouvrages au concessionnaire (article 3 de la convention de concession, article 6 du cahier des charges). De même, le concedant doit jouer de bonne foi le jeu de la concertation prévue (articles 32, 34) et accorder les compensations éventuellement nécessaires qui résultent de l'application du contrat, par exemple en cas de rachat de la concession (article 38). Si l'Etat peut avoir des obligations de faire, s'impose également à lui une obligation d'abstention dans certains cas. Il ne doit pas gêner la construction, le financement ou l'exploitation du projet, par exemple en perturbant ou en entravant le transport des matériaux ou des pièces de construction, en gênant la réalisation des travaux, même pour des motifs tenant au contrôle de leur avancement, il ne doit pas s'opposer à la fixation et à la perception des péages et, même si le préfet peut décider ou autoriser, dans certains cas, des restrictions, voire l'interdiction de la circulation (article 15), ces me-

sures doivent être prises dans l'intérêt des usagers de la route et demeurer proportionnées à l'objectif poursuivi.



La flexibilité et l'adaptabilité d'un contrat de concession de longue durée imposent la mise en place d'un certain nombre de mécanismes correcteurs ou régulateurs. Le contrat du viaduc de Millau contient plusieurs dispositifs permettant de stabiliser l'équilibre de la concession ou de le rétablir en cas de bouleversement. L'article 32 prévoit le principe de discussions en cas de modification substantielle ou de création d'impôts, de taxes ou de redevances spécifiques aux sociétés concessionnaires d'autoroutes pour examiner si ces changements ont un impact significatif sur la concession et, dans l'affirmative, arrêter les mesures à prendre. L'article 34 prévoit une procédure de conciliation en cas de survenance d'un événement relevant de l'"imprévision", du "fait du prince" ou de la "force majeure". Si ces mécanismes sont utiles et même nécessaires à la continuité du service public dans un contrat moderne de longue durée, ils ne confèrent au concessionnaire aucune garantie d'équilibre financier. En effet, aucune de ces clauses n'est d'application automatique, même si elles supposent, pour fonctionner correctement, un dialogue régulier entre les partenaires.

En l'espace de quelques années, la direction des routes s'est efforcée de renouveler son approche de la relation de partenariat entre le concedant et ses concessionnaires, en cherchant à concilier au mieux les grands principes des concessions, auxquels elle reste très attachée, avec les nouvelles approches du partenariat public-privé (PPP), les techniques modernes de financement, les visions renouvelées sur le partage des risques ou encore l'évolution des attentes des usagers sur la qualité du service. Par sa durée, par la solidarité de fait entre les partenaires et par la relation de confiance qui unit le concedant à son concessionnaire, un contrat de concession s'apparente à un contrat de mariage : ce contrat n'a de chance de fonctionner correctement que s'il repose sur les trois "piliers de la sagesse" que sont la loyauté, la confiance et la bonne foi. Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que le contrat de concession a pour objet la délégation d'un service public et que le service public reste au service du public. Le contrat de concession du viaduc de Millau (CEVM) constitue, à plusieurs de ces titres, le modèle des contrats de "nouvelle génération".

► Le point de vue du concessionnaire

Marc Legrand
DIRECTEUR GÉNÉRAL
Compagnie Eiffage du viaduc de Millau

Les exposés précédents ayant été très complets, je limiterai le mien à quelques coups de projecteurs sur des sujets essentiels aux yeux du concessionnaire.

Une des caractéristiques de la concession de Millau, qui se reflète dans le déroulement de cette conférence, est la continuité entre l'action de l'administration et celle du concessionnaire.

Il faut d'abord constater que pour des raisons budgétaires, et parce qu'il n'est pas possible de découper un grand ouvrage en "tranches" fonctionnelles, la formule de la concession était particulièrement bien adaptée au cas du viaduc de Millau.

La décision de concéder ayant été prise tardivement, comme l'a souligné J.-Fr. Coste,

tout un parcours avait déjà été réalisé par l'administration lorsque le concessionnaire est rentré en scène, avec des avantages et des inconvénients. Le principal inconvénient était que le projet architectural ayant été complètement étudié avant la mise en concession et s'imposant donc à tous – le concessionnaire avait l'obligation de construire strictement le dessin du concours, sans possibilité d'adaptation. Pour un tel ouvrage, et avec le procédé de lancement retenu, une partie prépondérante du dimensionnement est liée aux phases de construction et non au calcul en service, et un peu plus de latitude dans la forme de l'ouvrage, notamment celle des têtes de pile sur lesquelles des efforts très importants se concentrent en phase de lancement, aurait grandement facilité la réalisation.

Cet inconvénient était cependant mineur par rapport à l'avantage considérable d'avoir à réaliser un ouvrage dont les études préliminaires, et surtout la concertation, avaient été complètement menées à leur terme avant la mise en concession, et le fait que cette concertation ait été tout à fait exemplaire. Maintenant que l'ouvrage est bien engagé, il faut constater que nous n'avons rencontré aucune difficulté du point de vue de l'insertion de l'ouvrage, que les problèmes de foncier se sont résolus très facilement, que la piste de 10 millions d'euros réalisée avant le chantier par l'administration a constitué un apport en nature appréciable et a surtout permis un gain de temps important.

C'est grâce à ce contexte favorable que la concession a pu s'autofinancer, et aussi parce que tout le reste de l'autoroute, entre Clermont et Béziers, est gratuit, ce qui fait que le trajet par A75 est d'un coût

très inférieur à celui des solutions concurrentes.

Parmi les contributions décisives de cette période préliminaire, il faut citer bien entendu celle de Michel Virlogeux, mais aussi de Georges Gillet, qui est maintenant le représentant local de l'autorité de contrôle.

Par rapport à un appel d'offres de travaux, la réponse à un appel d'offres de concession, et plus particulièrement à celui de Millau, est beaucoup plus intéressante et motivante. Pour un appel d'offres de travaux, le choix entre les entreprises présentant des références techniques et une assiette financière suffisantes se base fatalement sur le prix proposé. Pour Millau, le prix de l'ouvrage n'était pas un critère direct de sélection puisqu'aucune subvention n'était demandée à l'Etat. Il y a bien entendu un lien entre le prix et les tarifs payés par l'utilisateur, mais d'autres données sont tout aussi importantes comme par exemple les délais de mise en service, les caractéristiques du montage financier et la façon dont on structure les tarifs au cours de l'année. La diversification des critères de jugement permet à l'entreprise de mieux exprimer sa vision globale de la concession, de privilégier et de mettre en valeur les critères qui lui paraissent les plus essentiels.

Pour Millau, l'entreprise a beaucoup privilégié la réduction du délai et a pu proposer un délai exceptionnellement court de trente-neuf mois, rapprochant ainsi substantiellement la date de mise en service complète de l'autoroute.

Elle a apporté également beaucoup d'attention à l'optimisation de la modulation tarifaire, telle que l'a exposée Patrick Vieu, l'objectif étant d'inciter les automobilistes à emprunter le viaduc même en hiver, alors que la traversée de Millau n'est pas saturée, et ceci tout en conservant l'équilibre économique de la concession.

La qualité de l'organisation est bien entendu essentielle. Le groupe Eiffage, concessionnaire à travers la compagnie concessionnaire du viaduc de Millau, sa filiale à cent pour cent, a confié la construction à un groupement momentané de deux autres entités du groupe, Eiffage construction et Eiffel ; tout se passe donc au sein du groupe. Pour donner le maximum de garanties de sécurité et de qualité dans la réalisation de l'ouvrage, il a été jugé opportun de choisir un maître d'œuvre extérieur, en la personne de la Setec, accompagnée pour une partie de la division de l'ingénierie de la SNCF. Ce maître d'œuvre a toutes les attributions normales d'un maître d'œuvre, il vérifie les notes de calcul, il vise les plans d'exécution, il vérifie la conformité de la réalisation à ces plans.

Le fait d'avoir pour le cahier des charges un texte



de référence proposé par l'administration, appelé à être amendé dans la phase de négociation de la concession, était très positif. Les discussions entre maître Sur, juriste du concessionnaire, et les juristes de l'administration, ont été très fructueuses et ont incontestablement permis d'aboutir à un résultat très satisfaisant.

Dans l'exposé précédent, P. Vieu a marqué son attachement à la continuité du service public. Il doit normalement en résulter que s'il survient un élément perturbant, concédant et concessionnaire doivent pouvoir se mettre autour de la table pour voir ensemble comment assurer la continuité d'exploitation de la concession. La mise au point en commun du cahier des charges a permis d'aboutir à ce sujet à des formules satisfaisantes pour les deux parties. Ceci était tout particulièrement essentiel pour un contrat qui les lie pour une aussi longue période.

Il paraît intéressant de préciser la chronologie des deux phases de la mise en concession.

Réception du dossier le 21 juin 2000 avec 5 mois pour répondre, avec l'obligation pendant cette courte période de vérifier les calculs, de mettre au point la méthode de construction, d'en déduire le délai de construction et le coût de l'ouvrage, de faire des prévisions de trafic, de définir une politique tarifaire; réponse le 21 novembre; liste de questions établies par le jury remise le 26 décembre pour une réponse le 8 janvier, débouchant pendant un mois sur des échanges permanents de questions-réponses puis, début février sur un grand oral devant la commission présidée par G. Mercadal; le 1^{er} mars lettre du ministre informant Eiffage que sur proposition de la commission, l'entreprise était pressentie pour la concession.

Un mois après le "concessionnaire pressenti" est convoqué par C. De Fenoyl, choisi par l'administration comme négociateur, la négociation portant essentiellement sur le cahier des charges, et plus précisément sur la façon de réduire l'écart entre le "cahier des charges de référence" de l'administration et le cahier des charges proposé par l'entreprise.

La négociation a été facilitée par le fait que seul le groupe Eiffage était concerné, et qu'on évitait donc toutes les lourdeurs inhérentes à un groupement d'entreprises, et surtout par le fait qu'il ne faisait pas appel à un financement bancaire. Eiffage avait craint en effet que le pool bancaire soit effrayé par l'audace de l'ouvrage et se garantisse par des commissions importantes et avait donc décidé de le financer sur sa propre trésorerie, ce qui était possible car Eiffage était complètement désendetté. Lorsque le viaduc sera construit, et qu'il n'y aura donc plus de risque de construction, et lorsque les recettes réelles de trafic seront connues il sera alors possible de faire appel aux banquiers et de leur demander un financement peu risqué, avec des conditions tarifaires bien meilleures.

Comme P. Vieu l'a indiqué, le cahier des charges prévoit la possibilité d'une interruption prématurée de la concession, pour éviter une rente de situation choquante. La formule retenue est simple dans son expression : on a fixé un seuil en faisant la somme des recettes prévisionnelles actualisées sur la durée de la concession, additionnée d'une marge négociée; on calcule chaque année la somme des recettes constatées actualisées; quand cette somme atteint le seuil, on interrompt la concession – avec un butoir fixé à 45 ans, après apurement du refinancement. Bien entendu, la mise au point de cet article du cahier des charges a donné lieu à des négociations difficiles, qui, grâce à la méthode mise en oeuvre par C. De Fenoyl, négociateur de l'administration, ont cependant pu aboutir dans des délais exceptionnellement courts. Un article du contrat de concession, évoqué par P. Vieu, mérite d'être spécialement évoqué, c'est l'article 30 relatif au 1 % touristique. Il donne une dimension tout à fait particulière au positionnement du concessionnaire, c'est son insertion dans l'environnement local et régional. Cette insertion n'est pas purement affective, c'est l'affirmation que les intérêts sont liés : plus le sud-Aveyron se portera bien et plus le concessionnaire aura des chances d'avoir de trafic sur le viaduc, et ceci non seulement en juillet et août, mais pendant les dix autres mois de l'année. Inversement, le viaduc de Millau et l'autoroute vont débarrasser la ville de Millau du trafic de transit et des camions et donner une meilleure accessibilité à Millau, depuis Clermont-Ferrand comme depuis l'Hérault. C'est dans cet esprit qu'il a été prévu une participation du concessionnaire, au niveau de 1 % du coût de l'ouvrage, au "programme d'accompagnement du viaduc" dont l'objectif est de valoriser le sud-Aveyron. Le viaduc contribue d'ailleurs dès maintenant à faire découvrir l'Aveyron grâce aux nombreux visiteurs qu'il accueille (170 000 à ce jour) et on peut espérer que cet intérêt se poursuivra après la mise en service.

En conclusion, pour un ouvrage exceptionnel comme le viaduc de Millau, la concession est une excellente formule pour l'entreprise comme pour le pays. Pour l'entreprise parce qu'elle lui permet de s'exprimer pleinement, en totale responsabilité, et lui permet de consolider son développement. Pour le pays, c'est la possibilité de réaliser dans des délais très raccourcis une grande opération d'aménagement du territoire et de modernisation des infrastructures et d'en percevoir beaucoup plus vite les dividendes en terme de développement économique.





► Discussion

> **Cl. Geffroy** : *J'aimerais avoir un aperçu des défis technologiques et des grandes innovations de cette réalisation ?*

> **M. Legrand** : Je voudrais auparavant indiquer, car j'ai omis ce point dans mon intervention, comment se résolvent les conflits entre l'entreprise et la maîtrise d'œuvre. Un comité d'experts a été mis en place, que je préside, dont fait notamment partie M. Virlogeux.

Pour revenir à la question, le premier défi était le calendrier très serré pour la réalisation des sept piles de grande hauteur, de 70 m à 245 m, qui obligeait à toutes les faire en même temps, ce qui supposait un recrutement massif de personnel, dont une centaine d'Aveyronnais.

Le deuxième était le lancement des 36 000 t de charpente métallique du tablier. La solution retenue consiste à le lancer à la fois depuis le nord et depuis le sud, la rencontre se faisant au-dessus du Tarn. Il faut pour cela faire avancer le tablier par pas de 170 m, grâce à des palées provisoires mises en place à mi-distance de chaque couple de piles (éloignées de 340 m en moyenne). Ces palées provisoires sont de grandes tours en tube d'acier, la plus haute faisant 172 m et pesant 1 200 t. Elles supportent le tablier pendant qu'il avance, car dans la phase de lancement le haubanage est partiel et calculé pour que le tablier ne s'affaisse pas avant d'atteindre l'appui suivant. Le véritable défi est dans cette succession de lancements, et dans la bonne conception des translateurs, posés sur les appuis, qui permettent de les réaliser de façon parfaitement synchronisée.

Une fois le tablier clavé, en principe à l'été prochain, on peut commencer à démonter les palées provisoires, mettre en place le revêtement et on arrive ainsi à janvier 2005 pour la mise en service.

> **J.-Fr. Coste** : Il faut aussi rappeler que pendant la phase de lancement, le véritable problème est celui du vent, de la stabilité aérodynamique. L'administration avait fait des études aérodynamiques de l'ouvrage après mise en service ; Eiffage les a complétées pour les différentes phases caractéristiques de la construction.

> **M. Legrand** : Il faut également préciser que si le cycle de lancement est de six semaines, cinq sont consacrées à l'assemblage du tablier, et donc essentiellement à des soudures au sol. C'est pendant les quelques jours du lancement proprement dit qu'il ne faut pas avoir de vents de plus de 85 km/h.

> **H. Clappier** : Le viaduc de Millau, de même d'ailleurs que les tunnels de A86, montre qu'il est possible d'intercaler sur des autoroutes gratuites un ouvrage à péage, ce qui permet d'accélérer la mise en service de l'ensemble. *Il y a en Ile-de-France un certain nombre d'ouvrages qui sont bloqués par manque de financement, ne pourrait-on pas utiliser la même solution ?*

> **P. Parisé** : Le système de la concession et, plus largement, les montages financiers en partenariat public-privé offrent en effet un large éventail de solutions qui permettent dans certains cas d'accélérer la réalisation de projets en facilitant la mobilisation de financements d'origine privée. De ce point de vue, il n'y a pas de doute sur le fait que la mise à péage du viaduc de Millau a permis de rapprocher considérablement l'horizon de sa mise en service. Mais l'institution du péage ne peut pas répondre uniquement à des préoccupations immédiates de financement. Il faut prendre en compte la cohérence d'ensemble de l'itinéraire ou du réseau d'infrastructures environnant, comprendre et anticiper les effets de report éventuels et tenir compte de la sensibilité de l'usager au péage, en particulier en zone urbaine où les conséquences de la mise à péage peuvent être difficiles à prévoir.

La mise à péage du viaduc de Millau sur un itinéraire par ailleurs libre de péage n'allait pas de soi et a été précédée d'une réflexion d'une part sur la vocation de l'itinéraire, l'A75 ayant notamment pour fonction de délester la vallée du Rhône, d'autre part sur l'acceptabilité du péage. Autant qu'un instrument de financement, le péage doit être regardé comme un outil d'aménagement du territoire. Le financement des infrastructures urbaines par le péage ne peut pas faire l'impasse sur son acceptabilité, cela d'autant plus qu'en soulageant les itinéraires libres de péage d'une partie de leur trafic, les infrastructures à péage peuvent également bénéficier aux usagers qui ne l'acquittent pas. Ces problématiques sont complexes et doivent être regardées au cas par cas. Le succès de fréquentation de l'A14 est encourageant. Il conviendra bien

entendu de tirer profit de l'expérience de l'A86. Dans tous les cas, il ne faut pas négliger la dimension politique et psychologique du péage, en zone urbaine moins que jamais.

> **J. Chapon** : *Sur les questions de vent, y a t il eu des essais en soufflerie ?*

> **J.-Fr. Coste** : Des essais en soufflerie ont effectivement été réalisés par le CSTB à Nantes, d'abord à la demande de l'administration pour les études de l'ouvrage en service, puis de Eiffage pour les phases de construction et de service. Il faut aussi souligner que le comité d'experts a bénéficié du concours du professeur Alan Davenport, grand spécialiste mondial de ces questions. In fine, la Setec a vérifié de nouveau pour le compte du concessionnaire, l'ensemble des résultats obtenus dans tous ces essais de simulation. Un élément favorable est la séparation des périodes propres d'oscillation des différentes parties de l'ouvrage, y compris en cours de construction.

> **J.-P. Jouglu** : Il y a quelques années, le président Giscard d'Estaing avait émis des critiques vis-à-vis du pont haubané, qu'il trouvait inesthétique et inadapté au paysage local, et regretté que le jury n'ait pas retenu la solution, également proposée, du pont en arc. *Quelles sont les raisons qui ont conduit à écarter cette solution ?*

> **M. Legrand** : Avant d'entendre J.-Fr. Coste, le mieux placé pour répondre à cette question, il est bon de faire mention d'un sondage effectué il y a un an par un syndicat mixte de collectivités locales de l'Aveyron. A une phrase pourtant présentée de façon négative "le viaduc de Millau s'intégrera mal dans le paysage" 75 % des Aveyronnais ont répondu pas d'accord ou pas du tout d'accord.

> **J.-Fr. Coste** : Le jury a beaucoup débattu à propos du projet de pont en arc présenté par l'un des candidats, d'autant que certains élus étaient favorables à une solution en arc. Mais ce projet posait deux problèmes, un problème technique et un problème architectural. Du point de vue technique, il faut savoir que sa portée de 600 m était double du record du monde, avec en plus la difficulté de réaliser un cintre complexe au-dessus du Tarn. Du point de vue architectural, le parti retenu pour le viaduc d'accès n'a pas été jugé satisfaisant : il s'agissait d'un ouvrage à travées multiples relativement courtes : 168 m de portée au lieu de 342 m pour le projet retenu. Cet ouvrage barrait la vallée et se raccordait mal à l'ouvrage principal. En contrepoint, il faut également souligner l'excellent travail de Norman Foster effectué sur la forme des piles et pylônes de l'ouvrage mutihaubané, et son apport pour d'autres détails de l'ouvrage.



> **G. Dobias** : Un commentaire tout d'abord. Avec J. Berthier, et déjà dans le cadre du CNISF, nous avons organisé il y a deux ans un colloque sur le thème "Comment faire une bonne concession ?" auquel nous avons invité maître Sur. Je constate avec un grand plaisir que tout ce qui avait été dit au cours de ce colloque a été mis en œuvre dans la concession de Millau.

Et aussi une question : *Comment avez-vous fixé le niveau des péages poids lourds, et représentent-ils un pourcentage important des recettes ?*

> **M. Legrand** : Au départ, on a cherché à maximiser les recettes. Ceci a conduit à des chiffres jugés difficilement tolérables. On a donc appliqué une décote, avec le souci d'une bonne utilisation du viaduc. Avec les prévisions de trafic actuelles, les recettes issues du trafic lourd devraient représenter 30 % des recettes.

> **P. Parisé** : L'organisation du contrôle par l'Etat concédant est une des innovations de cette concession, et il serait intéressant d'entendre à ce sujet François Lépingle.

> **Fr. Lépingle** : La tâche de l'autorité de contrôle est fixée dans le cahier des charges. Elle porte sur les points suivants : conformité de l'ouvrage à la volonté de l'architecte (l'autorité de contrôle a également un contrat avec l'architecte pour le consulter à ce sujet) ; respect du planning (une réunion mensuelle avec M. Legrand permet de le vérifier) ; respect des engagements pris par l'Etat à l'occasion de l'enquête publique, notamment du point de vue de l'environnement de l'ouvrage et des pistes de chantier ; avec l'aide de toute une équipe d'experts, dont notamment J.-Fr. Coste, vérification des mesures prises pour assurer le respect de la durée de vie contractuelle de l'ouvrage ; vérification du niveau de sécurité offert par l'ouvrage aux usagers. Tout ceci fait que l'autorité de contrôle rencontre très souvent la société concessionnaire et que des relations de confiance ont pu se développer.

Les prix posters RGC&U

Le Réseau génie civil et urbain (RGC&U) a été créé voilà cinq ans par les deux ministères chargés de la recherche et de l'équipement. Il remplaçait le Plan génie civil. Son objectif est de définir des grandes lignes de la recherche de génie civil en France, de gérer au mieux les crédits alloués par les ministères pour encourager les projets de recherches, soit individuelles, soit collectives, principalement au travers de l'Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (Irex).

Chaque année, il organise une journée "Les entretiens du RGC&U" pour faire le point sur les principales recherches en cours et permettre aux doctorants de deuxième année, au cours d'une séance de posters, d'exposer leur projet aux participants représentant des universités, écoles d'ingénieurs, entreprises, laboratoires, bureaux d'études.

Cette manifestation est l'occasion de remettre des prix Fntp aux meilleurs posters à la suite d'un vote à bulletins secrets au cours de la journée.

Sur trente-neuf posters proposés par les doctorants, trois ont été retenus par les participants :

1^{er} Prix - Orianne Jenck (Insa de Lyon) - Renforcement des massifs de fondation par inclusions rigides verticales - Modélisation physique et numérique.

2^e Prix - Nathalie Domède (Insa de Toulouse) - Méthode d'expertise de la fiabilité des ponts anciens en maçonnerie.

3^e Prix - Béatrice Vila (ENTPE) - Recommandations pour la limitation des pathologies des dallages liés aux retraits du béton : simulation des comportements et validation expérimentale.

1^{ER} PRIX

Orianne Jenck
URGC - Insa Lyon

Renforcement des massifs de fondations par Inclusions rigides verticales - Modélisation physique et numérique

Sujet :

Cette technique de renforcement des sols permet de réduire et d'homogénéiser les tassements sous ouvrage. Un réseau d'inclusions traverse une couche de sol compressible pour s'ancrer dans une couche plus rigide et reprend les charges

appliquées en surface par l'intermédiaire d'un matelas granulaire dans lequel se développent des voûtes de décharge.

Méthodologie :

Des modélisations physiques bidimensionnelles utilisant le sol analogue de Schneebeli pour modéliser le matelas permettent d'analyser l'influence de différents paramètres géométriques et matériels.

Des modélisations numériques 2D sont envisagées en milieu continu et discret. Il est ensuite prévu de confronter les expérimentations *in situ* et en centrifugeuse avec des simulations 3D en milieu continu. Des modèles de comportement

1^{er} Prix : Renforcement des massifs de fondations par Inclusions rigides verticales - Modélisation physique et numérique

URGC Geotechnique
Renforcement des Massifs de Fondation par Inclusions Rigides Verticales - Modélisation Physique et Numérique
Orianne Jenck
Unité de Recherche en Génie Civil, INSA de Lyon

Problématique
Le renforcement des sols compressibles par inclusions rigides verticales permet de réduire et d'homogénéiser les tassements sous ouvrage. Il s'agit d'une technique d'amélioration des sols qui ne nécessite pas le remplacement du sol en place. Elle apporte une réponse partielle aux défis d'aménagement et d'entretien des sites et des sites de construction. Des domaines d'application privilégiés sont les fondations de voies ferrées, de remblais routiers et de bâtiments industriels.

Principe du renforcement
Les inclusions, ancrées dans une horizon plus rigide, reprennent les charges appliquées en surface par l'intermédiaire d'un matelas granulaire grossier. Le tassement différentiel entre les nœuds d'inclusions et le sol compressible orde du tassement dans le matelas, induisant la formation de voûtes entre les inclusions, et donc un report de la charge. Afin d'augmenter la surface de reprise des charges, les inclusions peuvent être équipées de dalottes. Le frottement le long des inclusions participe également à ce phénomène complexe d'interaction sol/structure. Une mappe de géométrie, fournie en annexe, peut être intégrée à la base du remblai.

Méthodologie
Une analyse qualitative sur un modèle physique bidimensionnel est proposée, qui sera poursuivie par une étude numérique en milieu continu et en milieu discret, afin d'analyser l'influence de différents paramètres sur les mécanismes de transfert de charge.

Etude paramétrique
Influence conjointe de α et H (Fig. 2)
Influence de la granulométrie
Influence de la rigidité du sol compressible
apport d'un géotextile

Modélisation physique
Le système est chargé par couches successives de hauteur de 10cm jusqu'à une hauteur H , puis en pointe des surcharges.

Modélisation numérique
Une étude bibliographique sur les modèles de comportement des sols a été effectuée ainsi que l'implémentation de modèles élastoplastiques à divers niveaux de complexité dans le code de calcul Plax (milieu continu). Des simulations bidimensionnelles et tridimensionnelles visent à simuler le modèle réduit et des plots en site sont effectués en milieu continu et en milieu discret.

Conclusions et perspectives
L'étude paramétrique, au vu des simulations numériques et des expérimentations sur le modèle réduit, a pour but de mettre en évidence les mécanismes régissant le transfert de charge au sein du sol granulaire ainsi que l'influence des divers paramètres. La validation du modèle numérique 2D sera possible par confrontation avec les résultats de autres expérimentations prévues dans le projet, dont notamment des plots expérimentaux *in situ* et des essais en centrifugeuse.

Unité de Recherche en Génie Civil
Equipe Géotechnique
INSA de Lyon - 20 avenue Albert Einstein
69621 Villeurbanne Cedex
www.jenck@insa-lyon.fr

Affiliation de recherche: REIMIT
Directeur de thèse: Richard Kuster & Daniel Daz

spécifiques ont été implémentés dans le logiciel de calcul FLAC3D afin de mettre en œuvre des simulations réalistes.

Résultats :

Une étude bibliographique sur le comportement des sols a été effectuée ainsi que l'implémentation de modèles élastoplastiques à divers niveaux de complexité dans un code de calcul tridimensionnel. Le modèle réduit a été construit et l'étude paramétrique est en cours.

Collaboration :

Un Projet national est en cours de montage, qui a pour finalité la rédaction de recommandations pour le dimensionnement et la mise en place de ce type de renforcement. Dans le cadre de ce projet, des essais *in situ* et en centrifugeuse seront réalisés, permettant la confrontation et la validation de modèles physiques, analytiques et numériques. Il est donc prévu des collaborations avec les partenaires du Projet national.

Retombées :

Participation à l'élaboration des recommandations.

Mots clefs :

Sol, renforcement, inclusions rigides, effet voûte, modélisation physique, sol analogique, modélisation numérique, différences finies, lois de comportement.

Nom : Orianne Jenck

Formation : Ingénieur Génie Civil et Urbanisme INSA Lyon - DEA Génie civil ED MEGA

Projet : Recherche publique et enseignement

Ecole doctorale : MEGA

Laboratoire : URGC- INSA Lyon

Contact :

Tél. : +33 (0) 4 72 43 87 04

E-mail : orianne.jenck@insa-lyon.fr

Encadrement : R. Kastner et D. Dias

Type de financement : Allocation de recherche MENRT

■ 2^E PRIX

Nathalie Domède
LMDC-CDHT

Méthode d'expertise de la fiabilité des ponts anciens en maçonnerie

Sujet :

Le but de la recherche est de développer une méthode de calcul moderne des ouvrages anciens en maçonnerie afin d'en comprendre le fonctionnement mécanique en service. Les ponts choisis ont été construits au XIX^e siècle en région Midi-Pyrénées.

Méthodologie :

La première étape de cette recherche était de nature historique. Elle a débuté par le choix d'ou-

2^e Prix : Méthode d'expertise de la fiabilité des ponts anciens en maçonnerie

Méthode d'expertise de la fiabilité des ponts anciens en maçonnerie

Coordinatrice: **Nathalie DOMÈDE** (Directrice de Recherche, LMDC)
Directeurs de thèse: **GÉRARD PONS** (INSA de Toulouse, LMDC) et **ANDRÉ GUILLERME** (Centre d'histoire des Techniques, Paris)

44% des ponts utilisés par la SNCF sont en maçonnerie. Malgré leur âge, ces ouvrages d'art sont toujours en service. Le but de la recherche est de développer une méthode de calcul moderne de ces ouvrages anciens.

1. CHOIX DES OUVRAGES D'ART ETUDIÉS :
Une ligne de chemin de fer dans le Tarn, la liaison Castres - Albi.
154 ouvrages comprenant 14 ponts « spéciaux » dans 11 ponts en maçonnerie de portée supérieure à 30m.

2. UN EXEMPLE : Le pont de la Millette.
Facilement accessible et en bon état, cet ouvrage simple présente par ailleurs un dossier d'archives complet.

3. COMMENT LES VOUTES ONT ÉTÉ CALCULÉES.
1^{ère} étape: Première visite sur l'ouvrage des ponts.
2^{ème} étape: Visite de l'ouvrage.
3^{ème} étape: Calcul à 3 dimensions.
1999 SETRA programme « VOUTES ».

4. AUJOURD'HUI: la MEF
Méthode de calcul aux Éléments Finis.

La MEF permet de prendre en compte les 3 dimensions de la structure, la diversité des matériaux, la liaison élastique avec le sol et l'état réel, vieilli, de l'ouvrage. Des essais en laboratoire affinent la modélisation du comportement des matériaux : briques, mortiers, réunis en maçonnerie.

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions
INSA UPS 135 Avenue de Rangueil 31077 TOULOUSE. Tél. : 05 61 55 99 18 / MFD. <http://www.gci.insa-tlse.fr/mfd/>

vrages d'art sur la région Midi-Pyrénées (anciens ouvrages ferrés), et la reconnaissance de ces ouvrages à l'aide d'archives et de visites des sites. La seconde étape consiste en la mise au point d'une méthode d'homogénéisation numérique d'une maçonnerie composée de briques et de mortier. Elle associe une phase expérimentale sur des matériaux neufs de même nature que les matériaux anciens. L'étape finale consistera à modéliser un pont dans les trois dimensions de l'espace et d'étudier son comportement.

Résultats :

Le travail d'archive a permis d'identifier concrètement la composition des ponts choisis, les matériaux utilisés, et leur répartition à l'intérieur de l'ouvrage. L'analyse numérique par éléments finis ainsi que la phase expérimentale sur matériaux neufs est en cours.

Collaboration :

Cette recherche est possible grâce à la collaboration des services techniques de Réseau Fer de France et de la SNCF.

Retombées :

44 % des ponts utilisés aujourd'hui par la SNCF sont en maçonnerie. Une meilleure connaissance de ces ouvrages permettrait d'améliorer les actions de maintenance des lignes en service.

Mots clefs :

Ponts, maçonnerie, patrimoine, maintenance, modélisation, éléments finis.

Nom : Nathalie Domède

Formation : Ingénieur Insa de Lyon, professeur agrégé de Génie civil, diplômée du Centre d'histoire des techniques de Paris (DEA). Enseignante à l'Insa de Toulouse.

Projet : Participer à la conservation de notre patrimoine bâti.

Ecole doctorale : "Matériaux, Structures & Mécanique" de l'université Paul Sabatier, Toulouse.

Laboratoires :

- Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions
135, avenue de Rangueil - 31077 Toulouse.

- Centre d'histoire des techniques

5, rue du Vertbois - 75003 Paris.

Tél. : +33 (0) 5 61 55 99 35

E-mail : nathalie.domede@insa-tlse.fr

Encadrement : Gérard Pons (LMDC), André Guillerm (CDHT)

Entreprise associée : SNCF

Type de financement : aucun

3^E PRIX

Béatrice Vila

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL ET BÂTIMENT
Laboratoire Géomatériaux de l'ENTPE

Recommandations pour la limitation des pathologies des dallages liés aux retraits du béton (tuilage, fissuration) : simulation des comportements et validation expérimentale

Sujet :

Etude des problèmes de fissuration des dallages industriels liés au retrait restreint du béton.

Méthodologie :

- Etude spécifique des propriétés à l'interface dalle-support.
- Introduction de ce comportement dans un modèle de frottement.
- Prise en compte du phénomène de tuilage dans la simulation.

Résultats :

- Préviation de la fissuration.
- Amélioration de la prise en compte des pro-

priétés de frottement et du tuilage dans le dimensionnement.

Collaboration :

Lafarge (Laboratoire central de recherche), CETE de Lyon.

Retombées :

Dimensionnement des dallages industriels.

Mots clefs :

Dallage, béton, fissuration, retrait, frottements, interface, tuilage.

Nom : Béatrice Vila

Formation : Ingénieur Insa Génie civil
DEA Génie civil, Matériaux et Structures

Ecole doctorale : MEGA

Laboratoire : DGC/B/LGM de l'ENTPE

Tél. : +33 (0) 4 72 047224

E-mail : vila@entpe.fr

Encadrement : H. Di Benedetto

Entreprise associée : Lafarge

Type de financement : Cifre

COMITÉ D'ORIENTATION DU RGC&U

Présidé par Michel Ray, directeur scientifique et technique groupe Egis, il comporte dix-neuf membres :

◆ deux vice-présidents : Hélène Zanni, professeur des universités ESPCI, et François Vahl, commission technique de la FNTP ;

◆ les autres membres :

- Philippe Bisch, directeur technique, Séchaud & Metz Ingénierie
- Guy Beurier, Communauté urbaine de Lille
- Gaël Cadoret, Compagnie de Saint-Gobain
- Bernard Cambou, professeur des universités, Ecole centrale de Lyon
- Didier Carron, P.-d.g. bureau d'études Béture-Cerec - Environnement
- Danièle Chauvel, division génie civil, EDF-Septen
- Robert Copé, Centre scientifique et technique du bâtiment
- Michèle Cyna, Eurovia
- Félix Darve, professeur des universités, Institut polytechnique de Grenoble
- Denis Billon, directeur de l'ingénierie des infrastructures RATP
- Jean-Claude Deutsch, directeur Cereve, ENPC
- Michel Guérinet, directeur scientifique, Eiffage Construction
- Bruno Lebental, SETRA
- Michel de Longcamp, directeur scientifique bâtiment, Elf-Atochem
- Marcel Miramond, professeur des universités, Insa de Lyon
- Hormoz Modaresi, directeur du service aménagements et risques naturels, BRGM
- André Montès, inspecteur général, ministère de l'éducation nationale
- Jean-Pierre Peneau, professeur, Ecole d'architecture de Nantes
- Rémi Pochat, directeur scientifique, LCPC
- Philippe Renard, SNCF

3^e Prix :
Recommandations pour la limitation des pathologies des dallages liés aux retraits du béton (tuilage, fissuration) : simulation des comportements et validation expérimentale

Le **secrétariat du RGC&U** est animé par André Colson de la DRAST (Direction des affaires scientifiques et techniques du ministère de l'Équipement)

Contact :

Tél. : +33 (0) 1 40 81 26 32

Fax : +33 (0) 1 40 81 27 31

E-mail : Rgc&u@equipement.gouv.fr