

# Travaux

n° 768

## Autoroute A89

- L'A89, première transversale ouest/est

- La protection des milieux naturels sur l'autoroute A89

- L'autoroute A89 d'ouest en est

- Le pont du Mascaret

- Le viaduc des Barrails

- L'A89 entre Brive et Clermont-Ferrand : une forte identité bois

- La Sarsonne. En dévers sur trois piles

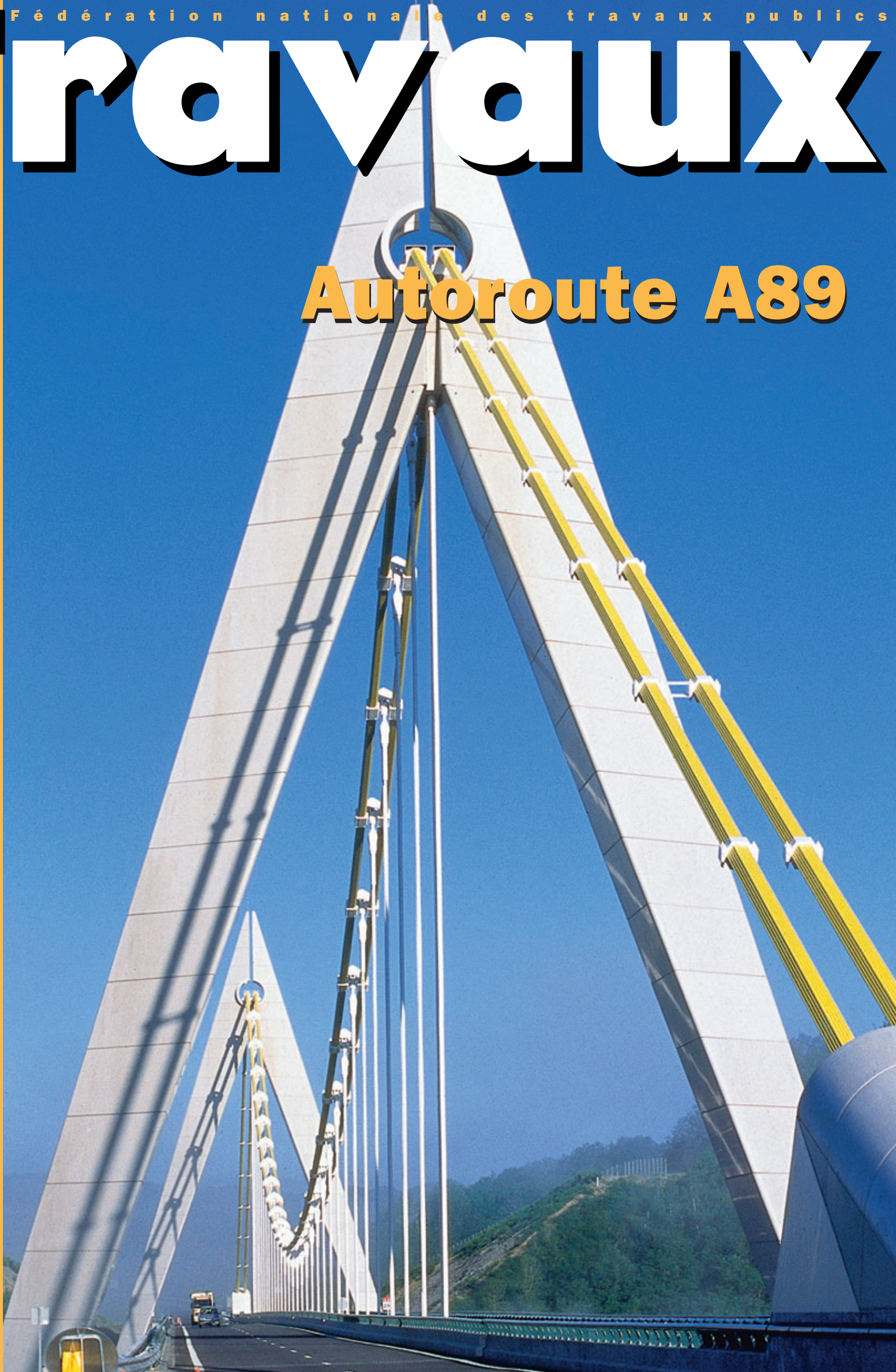
- Les Bergères. Le seul viaduc poussé

- La Barricade, une travée centrale de 150 m

- Le viaduc du Chavanon. 10 000 tonnes de légèreté

- Le viaduc de la Clidane

- ASF innove avec la première gare de péage entièrement automatique







### Notre couverture

#### A89 - Le viaduc du Chavanon

© Photothèque ASF - M. Garnier

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

### RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. : (33) 0144 13 31 44

### SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart

Tél. : (33) 0241 18 11 41

Fax : (33) 0241 18 11 51

E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

### MAQUETTE

T2B & H

8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris

Tél. : (33) 0144 64 84 20

### VENTES ET ABONNEMENTS

Colette Robert

RGRA

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 0140 73 80 05

E mail : revuetravaux@wanadoo.fr

France : 920 FF TTC

Etranger : 1100 FF

Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

### PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle

61, bd de Picpus - 75012 Paris

Tél. : (33) 0144 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).

### Éditions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n° 57304



## éditorial

Daniel Tardy

1

## actualités

9

## matériels

13

## PRÉFACE

Bernard Val

15

- ◆ L'A89, première transversale ouest/est  
- *The A89, the first west/east transverse motorway*

J. Tavernier

16

- ◆ La protection des milieux naturels sur l'autoroute A89  
- *The protection of the natural environment on the A89 motorway*

F. Beaudu

20

- ◆ L'autoroute A89 d'ouest en est  
- *The A89 motorway from west to east*

Direction opérationnelle de la Construction de Bordeaux

24

- ◆ Le pont du Mascaret sur l'A89  
- *The Mascaret bridge on the A89*

B. Cardouat

35

- ◆ A89 - Le viaduc des Barrails. Trois kilomètres de tablier dans le lit majeur de la Dordogne  
- *The A89 - The Barrails viaduct. Three kilometres of deck in the flood basin of the Dordogne*

J.-J. Bianchi, D. Primault

40

- ◆ L'A89 entre Brive et Clermont-Ferrand : une forte identité bois  
- *The A89 between Brive and Clermont-Ferrand : enhanced wooden design*

G. de Paysac

47

- ◆ La Sarsonne. En dévers sur trois piles  
- *La Sarsonne. Banked on three piers*

Direction opérationnelle de la Construction de Tulle

51

# Sommaire

octobre 2000

## Autoroute A89

Dans les prochains numéros

**Environnement**

**International**

**Ponts**

**Terrassements**

**Routes**

**Tunnel**

**de Toulon**

**Sols**

**et fondations**

**Eau**

**Travaux urbains**



◆ Les Bergères. Le seul viaduc poussé  
- *Les Bergères. The only pushed viaduct*

52

*Direction opérationnelle de la Construction de Tulle*



◆ La Barricade, une travée centrale de 150 m  
- *The Barricade viaduct, a central span of 150 m*

53

*Direction opérationnelle de la Construction de Tulle*



◆ Le viaduc du Chavanon. 10 000 tonnes de légèreté  
- *The Chavanon viaduct. 10,000 tonnes light*

54

*G. Boyadjian, J.-P. Roth, E. Pascal-Gemen, E. Bouchot, G. de Paysac*



◆ Le viaduc de la Clidane  
- *The Clidane viaduct*

59

*J.-M. Jaeger, N. El-Khoury, J.-P. Ragaru, Ch. Lavigne, A. Montois, E. de Bélizal, J.-J. Lagane, Ch. Bienbeau*



◆ ASF innove avec la première gare de péage  
entièrement automatique

68

- *Motorway operator ASF innovates with first fully automatic toll plaza*

*J.-P. Roth, J.-M. Phéby*



**formation**

73

**recherche**

75

**répertoire  
des fournisseurs**

78

# L'A89 : l'autoroute du désenclavement

L'autoroute A89 Bordeaux/Clermont-Ferrand, longue de 340 km, marquera un trait d'union entre la côte Atlantique et le massif Alpin. Elle traversera quatre départements, trois régions et favorisera tant les échanges commerciaux que touristiques avec l'Europe, et plus particulièrement l'Allemagne, la Suisse, l'Autriche, l'Espagne et l'Italie. En mars dernier, la mise en service de la première section de l'A89, entre Ussel ouest et Le Sancy, a permis de franchir une étape importante dans l'aménagement du territoire.

L'A89 était très attendue, comme le prouve la petite histoire de cette grande autoroute : l'idée d'un axe est/ouest est née il y a environ 2000 ans dans l'esprit d'Agrippa, le conseiller d'Auguste, qui imagina une voie romaine, partant de Lyon, traversant Clermont-Ferrand, et débouchant sur l'Aquitaine. Il nous faut ensuite attendre le siècle des Lumières pour assister à la première révolution des transports et des grands chemins. L'itinéraire qui relie Lyon à Bordeaux devient la préoccupation des intendants du Limousin. Turgot, le plus éclairé d'entre eux, projette de sortir la région de son isolement et conçoit un nouveau réseau routier. Il redessine le grand chemin Lyon/Bordeaux qui passe désormais clairement par Tulle, Brive puis Périgueux. Puis le plan routier de 1987 annonce la construc-

tion de l'A89, qui est déclarée d'utilité publique le 10 janvier 1996. Enfin en mars 2000, l'inauguration d'un premier maillon de 40 km marque l'avancée concrète de l'A89, 73 autres kilomètres seront mis en service à l'été 2001,

l'ensemble de la liaison Bordeaux/Clermont-Ferrand devant être achevé selon l'actuel cahier des charges d'ASF, à l'horizon 2006-2007.

En qualité de première transversale française ouest/est à vocation européenne, cette autoroute constitue un axe essentiel du désenclavement régional, notamment du Massif central, et surtout une nouvelle donne dans l'organisation des "pays" qu'elle est appelée à traverser. L'A89 va permettre de dynamiser les économies de l'Auvergne, du Limousin et de l'Aquitaine en favorisant de nouveaux échanges. Elle apportera également confort, sécurité et rapidité dans les déplacements.

Cette autoroute est aussi pour ASF une réelle occasion de mettre en avant le savoir-faire de ses ingénieurs, qui ont eu recours aux technologies les plus avancées, je pense notamment, au pont suspendu du Chavanon. De même, en faisant par exemple appel à l'industrie du bois, particulièrement dynamique en Corrèze, l'A89 est une illustration exemplaire de ces "autoroutes vertes" que nous construisons depuis plus de 30 ans.



■ **BERNARD VAL**  
**Président**  
**d'Autoroutes du Sud**  
**de la France (ASF)**

# L'A89, première trans

Avec la mise en service de la section Ussel ouest/Le Sancy, l'autoroute A89 devient une réalité et marque une étape nouvelle dans l'aménagement du territoire de la France. L'autoroute A89, qui reliera en 2007 Bordeaux à Clermont-Ferrand, représente en effet la première transversale ouest-est du pays et un maillon essentiel de l'ouverture vers l'Europe de l'Est. Elle constitue également un facteur déterminant du désenclavement de régions quelque peu oubliées.

A terme, l'A89, telle qu'inscrite dans le schéma routier national, se raccordera aux autoroutes :

- A10 (Paris/Poitiers/Bordeaux),
- A62 (Bordeaux/Toulouse),
- A20 (Vierzon/Brive/Montauban),
- A71 (Orléans/Clermont-Ferrand) et A75 Clermont-Ferrand/Béziers.

L'autoroute A89 (figure 1) s'étend sur un linéaire de 340 km d'Arveyres, en Gironde, à Combronde, dans le Puy-de-Dôme. A ce jour, elle constitue l'une des plus longues autoroutes jamais construites en France. Elle traverse quatre départements : la Gironde (37 km), la Dordogne (111 km), la Corrèze (122 km) et le Puy-de-Dôme (70 km), et pas moins de 105 communes, dont 14 en Gironde, 35 en Dordogne, 35 en Corrèze et 21 dans le Puy-de-Dôme.

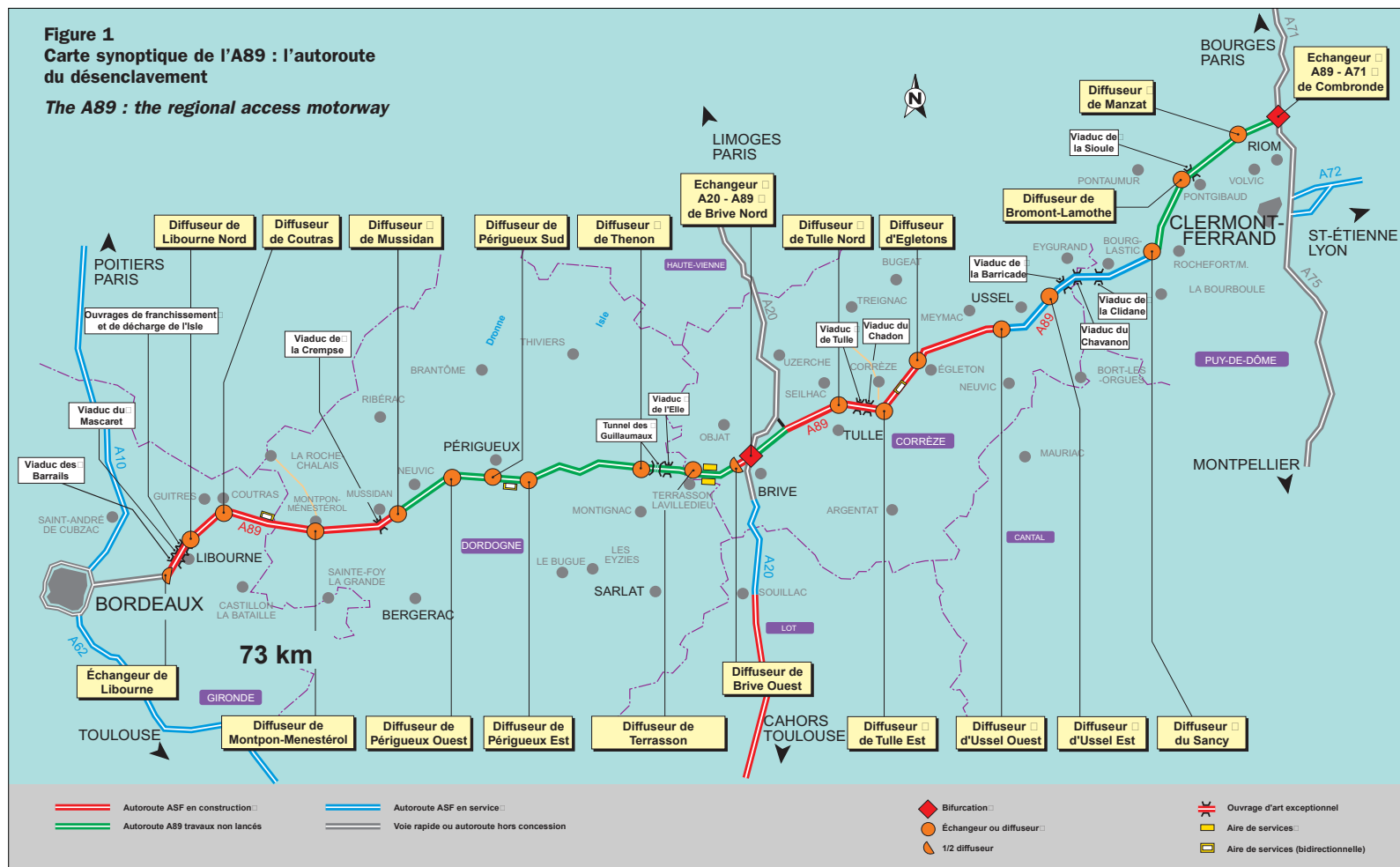
Pour faciliter les liaisons avec les axes routiers existants et irriguer les territoires traversés, dix-huit échangeurs ponctueront le parcours. Le tracé comportera, par ailleurs, 8 aires de repos et 5 aires de services.

L'ensemble de la liaison comprend 29 viaducs, dont plusieurs sont des ouvrages exceptionnels. Ils franchissent notamment au droit de Tulle la vallée de la Corrèze, puis celle du Chadon et, au contact des départements de la Corrèze et du Puy-de-Dôme,

la vallée du Chavanon et celles de ses deux affluents, Barricade et Clidane. Le viaduc de Tulle qui enjambe la vallée de la Corrèze entre Les Angles et Naves, est le plus haut (150 m) de l'A89. A l'ouest, le viaduc des Barrails, sur la section Libourne ouest-Coutras, représentera, avec ses 1460 m, le plus long viaduc de l'A89.

## ■ 156 KM OUVERTS D'ICI À 2002

Sur les 340 km de l'A89, la construction a été divisée en seize sections fonctionnelles de 20 km de longueur en moyenne. Les travaux ont débuté en 1996 depuis Libourne, en Gironde, et Le Sancy, dans le Puy-de-Dôme, en direction de Brive. Une première section est ouverte aujourd'hui : Ussel ouest/Le Sancy (40 km) puis, suivra, à l'été 2001, le tronçon Libourne/Mussidan (73 km). Pour les autres mises en service, le calendrier se présente





# versale ouest-est

**Jacques Tavernier**

DIRECTEUR GÉNÉRAL  
Autoroutes du Sud de la France  
(ASF)



ainsi : Tulle est/Ussel ouest (43 km) au printemps 2002. Les 184 km restants devraient être réalisés avant la fin 2007, selon l'actuel cahier des charges de la société ASF.

Sur une dizaine d'années, Autoroutes du Sud de la France aura investi quelque vingt milliards de francs pour la réalisation de l'A89. Autant dire que pour les économies locales, départementales et régionales, les retombées sont et seront bénéfiques. En moyenne, 30 à 50 % des sommes investies seront injectées dans l'économie régionale. De même, ce sont quelque 2 000 emplois directs ou indirects qui auront été créés ou préservés pendant cette période. Enfin, ASF, pour sa part, créera à terme près de 500 emplois permanents (exploitation, entretien...), et l'A89 sera à l'origine d'un nombre équivalent d'emplois indirects (installations commerciales, gendarmerie...) (photo 1).

## ■ LA LIAISON USSEL OUEST/LE SANCY

Première portion de l'autoroute A89 (Bordeaux/Clermont-Ferrand) à être mise en service, les 40 km de la section Ussel ouest/Le Sancy traversent deux départements : la Corrèze sur 23 km et le Puy-de-Dôme sur 17 km (figure 2).

Quatre ans après la déclaration d'utilité publique de la section Arveyres/Saint-Julien-Puy-Lavèze, les quarante premiers kilomètres de l'autoroute A89 sont livrés aux automobilistes. Cette liaison, qui relie Ussel à Saint-Julien-Puy-Lavèze via le diffuseur

du Sancy n'a pas pour priorité de désengorger la RN89, mais bien de désenclaver tout un espace du territoire national. Première transversale autoroutière ouest/est de France, elle porte en elle une logique "méridionale", selon le mot du président du Conseil général de la Corrèze. La Corrèze sera, en effet, l'interface entre l'est, l'ouest, le nord et le sud du continent grâce au maillage de l'A89 et de l'A20.

La section ouverte, nouvelle voie entre Limousin et Auvergne, traverse successivement, d'ouest en est, les communes de Saint-Angel, Ussel, Mestes, Saint-Exupéry-les-Roches, Saint-Fréjoux, Saint-Etienne-aux-Clos, Aix et Merlines, dans le département de la Corrèze ; et les communes de Messeix, Bourg-Lastic, Saint-Sulpice et Saint-Julien-Puy-Lavèze, dans le département du Puy-de-Dôme.

Comme le montre le document cartographique ci-dessous, le linéaire de l'autoroute côtoie par le sud la route nationale 89 jusqu'à la hauteur de Saint-

## A89 USSEL OUEST/LE SANCY EN CHIFFRES

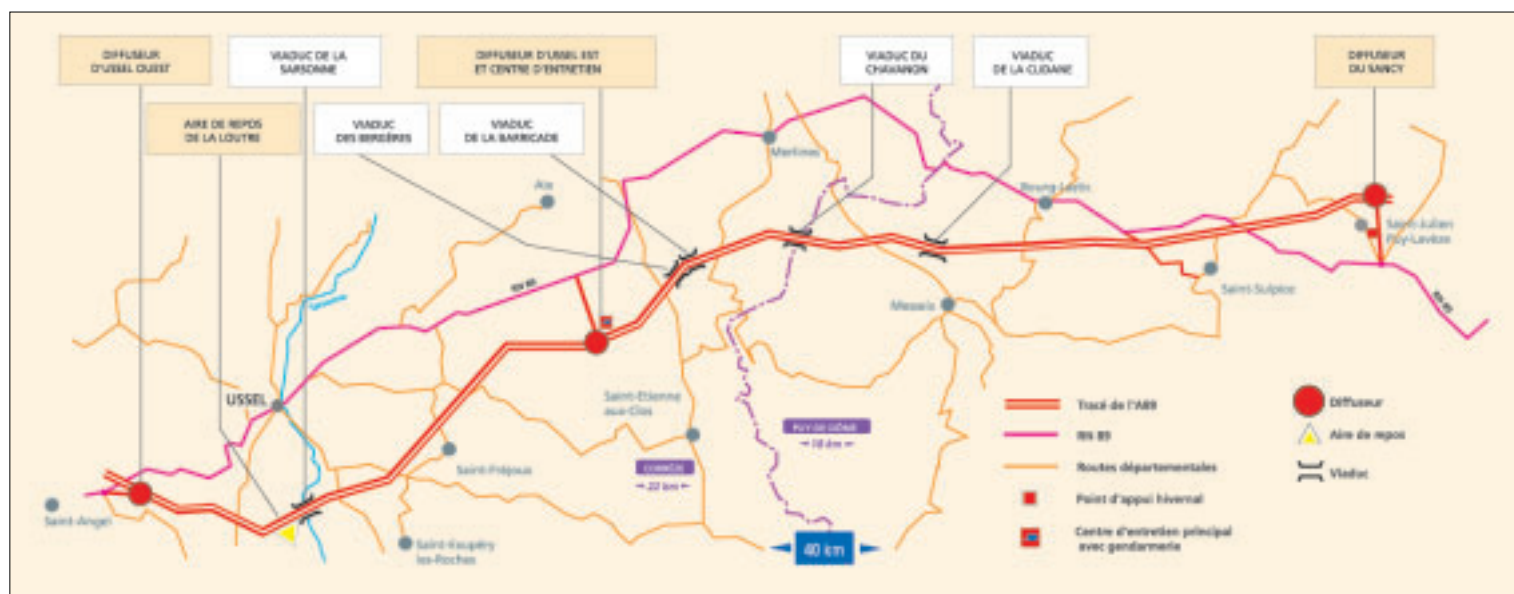
- 40 km
- 3 diffuseurs : Ussel ouest, Ussel est, Le Sancy
- 5 viaducs
- 39 rétablissements de communication
- 141 ouvrages hydrauliques
- déblais : 10 400 000 m<sup>3</sup>
- remblais : 7 800 000 m<sup>3</sup>
- chaussées : 610 000 tonnes de graves bitume et de béton bitumineux
- Coût : 2,7 milliards de francs 1995



**Photo 1**  
Par beau temps,  
une très belle vue  
sur le parc des volcans

*In good weather,  
a very beautiful view  
over the volcano park*

**Figure 2**  
Carte de la section  
Ussel ouest/Le Sancy  
The Ussel Ouest/Le Sancy  
section





**Photo 2**  
Ambiance bois pour les perrés de ce passage supérieur

*A woody ambience for the stonework of this overpass*



**Photo 3**  
Sur les 192 km de l'A89 entre Corrèze et Puy-de-Dôme, les auvents des gares de péage seront en pin rouge

*On the 192 km of the A89 between Corrèze and Puy-de-Dôme, the canopies of the toll plazas will be in red pine*

Sulpice pour passer ensuite au nord jusqu'au diffuseur du Sancy. A l'ouest, le raccordement de l'autoroute à cette route nationale s'opère par le barreau du diffuseur d'Ussel ouest, entre Saint-Angel et Ussel. Le tracé laisse largement au nord Ussel, et franchit à cette hauteur la Diège et la Sarsonne. Remontant vers le nord, il passe au sud d'Aix, que dessert le diffuseur d'Ussel est. Deux viaducs permettent ensuite de franchir les ruisseaux des Bergères et de la Barricade, à la limite des communes d'Aix et de Merlines. Au sud de Merlines, le viaduc du Chavanon surplombe la vallée éponyme, qui marque la limite entre la Corrèze et le Puy-de-Dôme, mais également entre le Limousin et l'Auvergne. Le tracé de l'autoroute franchit alors la vallée de la Clidane et passe entre Messeix et Bourg-Lastic. La route nationale et l'autoroute se croisent au nord de Saint-Sulpice, l'A89 se raccordant à la route nationale par le barreau du diffuseur du Sancy, à Saint-Julien-Puy-Lavèze.

Trois points d'échanges assurent les dessertes locales :

- ◆ le diffuseur Ussel ouest, sur la commune d'Ussel, raccordé à la route nationale 89 près de la zone d'activité dite de l'Empereur ;
- ◆ le diffuseur d'Ussel est, sur la commune d'Aix, relié à la RN89 ;
- ◆ le diffuseur du Sancy, sur la commune de Saint-Julien-Puy-Lavèze.

Sur les 40 km du tracé, l'autoroute a un profil à 2x2 voies ; elle comporte une voie supplémentaire pour les véhicules lents dans la rampe située au droit de Saint-Fréjoux (sens ouest/est), en Corrèze.

Cette section de 40 km comprend trois ouvrages d'art exceptionnels : les viaducs de la Clidane, du Chavanon et de la Barricade ; et deux ouvrages d'art non courants : les viaducs des Bergères et de la Sarsonne.

En ce qui concerne les équipements d'accueil de la clientèle, une aire de service est prévue sur la commune de Merlines et sera réalisée ultérieurement.

Une aire de repos dite de la Loure, unilatérale et bidirectionnelle, c'est-à-dire implantée d'un seul côté de l'autoroute et accessible aux deux sens de circulation, est située sur la commune d'Ussel.

Cette appellation ne doit rien au hasard, puisque ce petit animal, protégé au niveau européen, est présent dans le Massif Central, et notamment sur le bassin de la Haute-Dordogne. Pour préserver l'environnement de l'animal, cinq ouvrages hydrauliques ont été spécialement aménagés sur les 40 km de la section.

Pour assurer un bon suivi de l'exploitation, Autoroutes du Sud de la France a construit un centre d'entretien principal à proximité du diffuseur d'Ussel est, qui accueille également la gendarmerie et les maisons des ouvriers d'astreinte. De même, un point d'appui hivernal a été érigé près du dif-

fuseur du Sancy. Cette portion de l'autoroute A89, ne l'oublions pas, frise les 1000 mètres d'altitude sur sa partie auvergnate, imposant en période hivernale une vigilance de chaque instant.

La liaison étant soumise au péage, trois gares ont été réalisées à Ussel ouest, Ussel est et au Sancy. Leur structure en bois et leur couverture en zinc confèrent à l'ensemble une grande légèreté.

## ■ UNE AMBIANCE "BOIS"

Le tracé de l'A89 en Corrèze et dans le Puy-de-Dôme traverse une grande région sylvoicole. Souhaitant tenir compte de ce patrimoine forestier et le mettre en valeur, ASF a développé tout un concept "bois" dans la construction de l'A89. Ainsi, ponts, ouvrages d'art courants, passages faune, pylônes, barrières de péage, centres d'entretien... font appel à cette noble matière sur l'ensemble du parcours : à titre d'exemple, les perrés, sous les passages supérieurs, et les murs de soutènement des passages inférieurs sont habillés de demi-rondins de pins sylvestres ayant conservé leur aspect de grumes brutes (photos 2 et 3).

## ■ INTÉGRER L'AUTOROUTE DANS SON ENVIRONNEMENT

Le respect de l'environnement est un objectif prioritaire dans la construction d'une autoroute, qu'il concerne l'eau, la faune et la flore, le patrimoine culturel, les paysages, le bruit... (photo 4).

C'est ainsi que sur la liaison Ussel ouest-Le Sancy, toutes les eaux issues de la plate-forme autoroutière transiteront par des bassins multifonctions : écrêteurs, décanteurs et déshuileurs adaptés à la sensibilité du milieu. Ces bassins, un en moyenne au kilomètre, ont une capacité accrue dans les zones fortement sensibles. Leur principe de fonctionnement est simple : ils retiennent l'eau de ruissellement jusqu'à ce que les matières polluantes précipitent au fond par simple gravité. A ce lagunage, est adjointe une vanne d'évacuation qui, par un système de siphon, empêche les huiles de rejoindre le milieu naturel.

Pour une préservation optimale de la faune et de la flore, le tracé de l'A89 a été dévié vers le sud pour protéger la vallée de la Diège et vers le nord la vallée de la Barricade. De même, pour limiter l'impact des ouvrages d'art exceptionnels qui enjambent, notamment, les vallées de la Barricade, du Chavanon et de la Clidane, les architectes ont conçu des viaducs les plus hauts possible, préservant ainsi le fonds des vallées et limitant le déboisement des pentes.

Pour protéger les habitations soumises à des niveaux de bruit supérieurs aux normes réglementaires, des merlons (buttes de terre) ont été mis



**Photo 4**  
Construction de l'A89 sur fond de Sancy enneigé

**Construction of the A89 against a snow covered Sancy background**

en place. Les aménagements paysagers ont également fait l'objet des plus grands soins, l'autoroute devant s'intégrer au mieux dans le paysage de la Haute-Corrèze et des Combrailles. Les ingénieurs paysagistes ont ainsi morcelé les emprises vertes et les ont aménagées à partir des caractères dominants du paysage alentour, vallons boisés, forêts, prairies ou cultures. A titre d'exemple, au droit de la Diège et de la Sarsonne, des modelages enherbés et boisés assurent la continuité du couvert végétal en valorisant la végétation du fonds de vallée, toujours avec le souci constant de préserver la qualité paysagère.

### **A89 : LES DATES-CLÉS**

- 13 avril 1987 : Comité interministériel d'aménagement du territoire (CIAT)
- 18 mars 1988 : Inscription de l'A89 au schéma directeur routier national
- 7 février 1992 : Décret de concession à Autoroutes du Sud de la France
- 10 janvier 1996 : Déclaration d'utilité publique (DUP) de la section Libourne-Le Sancy (Arveyres/Saint-Julien-Puy-Lavèze), l'enquête préalable à la DUP s'étant déroulée du 25 mai au 22 juillet 1994
- Décembre 1996 : Début des travaux sur Coutras/Montpon et Ussel ouest/Le Sancy
- 9 janvier 1998 : Déclaration d'utilité publique (DUP) de la section Le Sancy/Combronde (enquête préalable à la DUP du 10 février au 12 juillet 1996)
- 3 mars 2000 : Mise en service d'Ussel ouest/Le Sancy

### **ABSTRACT**

**The A89, the first west/east transverse motorway**

*J. Tavernier*

The A89 motorway which is to provide a link between Bordeaux and Clermont-Ferrand is outstanding in more than one respect : by its length (340 km), its original west/east horizontal link, its socio-economic impact, but also by the quality of the natural sites it crosses, calling for bold engineering and aesthetic decisions.

The article reviews this regional development route which puts technical innovation in the service of environmental integration.

### **RESUMEN ESPAÑOL**

**Autopista A 89, primera transversal oeste/este**

*J. Tavernier*

La autopista A89, destinada a poner en comunicación las ciudades de Bordeaux y Clermont Ferrand presenta varios rasgos destacados, como, por ejemplo : su longitud – 340 km –, su carácter inédito de transversal oeste/este, su impacto socioeconómico, etc., pero también por la calidad de los parajes naturales atravesados, que impone opciones técnicas y estéticas audaces. La descripción del estado de los lugares atravesados por este eje de ordenación del territorio, que tiene por propósito poner la innovación técnica al servicio de la integración medioambiental.



# La protection des milieux sur l'autoroute A89

Des méandres de l'Isle à l'ouest jusqu'aux confins du Sancy, l'autoroute A89 reliant Bordeaux à Clermont-Ferrand traverse une mosaïque de milieux, riches d'une faune et d'une flore diversifiées et aux régimes hydrauliques et climatiques très marqués. Chaque section d'autoroute est donc bien un projet particulier dont la réussite repose sur l'étroite collaboration entre ASF, les maîtres d'œuvre, les bureaux d'études spécialisés en environnement, les associations et les services de l'Etat et bien sûr les entreprises, acteurs du chantier. Voici décrites quelques actions de protection du milieu naturel parmi les plus caractéristiques menées sur l'A89.

## LES ÉTUDES HYDRAULIQUES ET LA PROTECTION DES EAUX SUR L'A89

La partie ouest du tracé part du secteur du confluent des vallées de l'Isle et de la Dordogne également exposé aux marées de l'océan atlantique. Les contraintes hydrauliques étaient donc prépondérantes.

La position et le dimensionnement des ouvrages concernés devaient être calculés pour ne pas exhausser le niveau de crue centennale de plus de 2 cm dans les zones habitées et de plus de 5 cm dans le reste de la zone inondable.

Les études ont été pour l'essentiel conduites entre 1996 et 1997. Un comité spécifique présidé par le préfet du département et regroupant les principales administrations de l'Etat concernées a été mis en place pour suivre leur bon déroulement, en valider les principales étapes et s'assurer du respect des engagements de l'Etat.

Les principaux outils utilisés par le groupement de bureaux d'études étaient constitués d'un modèle physique, long de 70 m et large de 40 m, couvrant l'extrémité de la vallée de l'Isle et la quasi totalité de la boucle de la Dordogne au droit d'Arveyres et d'un modèle mathématique couvrant l'ensemble

du domaine d'étude soit 15 km dans la plaine de la Dordogne et 10 km dans celle de l'Isle (photo 1).

Le modèle mathématique est composé d'un maillage constitué de 30 000 points de calcul, intégrant la zone du modèle physique permettant l'étalonnage (pour plus de détails voir article "Libourne Ouest/Coutras", page 26).

L'importance de ce dispositif, nécessité par la précision exigée pour ces études, a représenté un coût d'investissement élevé (plus de 10 millions de francs).

Le modèle a aussi été utilisé pour vérifier les conséquences hydrauliques du projet pendant la phase travaux. C'est ainsi que plus de 3,5 km de viaducs et 18 ouvrages hydrauliques ont été construits entre Arveyres et St-Denis-de-Pile pour garantir la transparence hydraulique de l'ouvrage.

La préservation de la qualité des cours d'eau et des nappes aquifères constitue le deuxième volet de la prise en compte de la ressource en eau. Les eaux de pluie ruisselant sur la chaussée, si elles n'étaient pas "filtrées", entraîneraient des poussières polluantes (résidus de combustion des moteurs et d'usure des pneus) vers les rivières. L'eau de ruissellement est par conséquent collectée tout le long de l'autoroute et dirigée vers des bassins multifonctions : écrêteurs, décanteurs, déshuileurs adaptés à la sensibilité des nappes superficielles et phréatiques, ainsi que des eaux superficielles rencontrées (figure 1).

Ecrêteurs d'orage, ils limitent le risque de ravinement; décanteurs, ils retiennent l'eau de ruissellement jusqu'à ce que les produits polluants fixés sur les matières en suspension précipitent par simple gravité; déshuileurs par un passage en siphon qui empêche les huiles de rejoindre le milieu naturel. On compte ainsi environ un bassin par kilomètre d'autoroute.

ASF a mis en place également un système d'aide à la décision en viabilité hivernale pour limiter les quantités de sel et saumure déversées.

## LE RESPECT DE LA FAUNE INFÉODÉE AU MILIEU AQUATIQUE

Le souci de préservation de la vie aquatique conduit aussi à aménager les ouvrages hydrauliques afin de faciliter par exemple la circulation des poissons, par la mise en place d'un chenal assurant un niveau d'eau minimum à l'étiage. Entre Ussel et Le

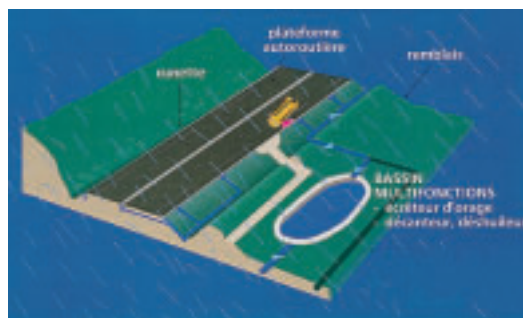
**Photo 1**  
Avec une surface utile de 3 000 m<sup>2</sup> le modèle physique est un des plus grands modèles fluviaux jamais réalisés en Europe

*With a useful surface area of 3,000 m<sup>2</sup>, the physical model is one of the largest river models ever used in Europe*



© P. Avarian

**Figure 1**  
Dispositif de protection des eaux. La forme du bassin est adaptée au contexte paysager  
Water protection system. The design of the basin matches the landscape



Sancy, cinq ouvrages hydrauliques ont été aménagés aussi pour permettre le passage des loutres. En effet, cet animal est très sensible aux modifications de son environnement (photo 2).

Autrefois, la loutre était un habitant familier de nos rivières. La chasse, la pollution, le développement agricole ont failli lui porter un coup fatal.

La loutre est en effet un "superprédateur", c'est-à-dire qu'elle est en bout de chaîne alimentaire et qu'elle concentre les éventuels polluants absorbés par les animaux dont elle se nourrit. Elle est donc très sensible aux modifications de son environnement. Quoique protégée depuis 25 ans au niveau européen, l'espèce ne cesse de se raréfier. Seule exception, le Massif central, où un début de recolonisation est très net, en particulier sur le bassin de la Haute-Dordogne, là même où les passages ont été réalisés.

Lorsqu'il s'est agi, pour la construction d'A89, de traverser un territoire encore habité par des loutres, ASF a fait appel aux spécialistes français de cette espèce pour l'assister dans la conception de l'ouvrage (photo 3).

Dès 1995, une première étude de l'impact prévisible des travaux sur la population des loutres était menée. Les viaducs de la Barricade et du Chavannon et épargnant le fond de vallée, le problème du franchissement de l'autoroute par ces animaux dans ces secteurs ne se posait pas.

En revanche, les passages au-dessus de cinq petits cours d'eau – Clidane, Eau-du-Bourg, Dognon, Dozanne, Jaloustre – ont été adaptés pour permettre aux loutres de circuler sous l'A89. A défaut de pouvoir conserver leurs habitudes de circulation, elles ne pourraient pas étendre leur territoire.

Techniquement, la solution était d'aménager, le long des cours d'eau, un passage que les loutres puissent emprunter même en cas de fortes crues. La loutre marque volontiers son territoire en y laissant des crottes que l'on nomme "épreintes" déposées régulièrement sur des obstacles bien visibles, situés sur son parcours (photos 4 et 5). L'animal prévient ainsi l'éventuel intrus qu'il s'agit de son territoire de chasse et qu'il vaut mieux rebrousser chemin. Dans les cinq passages sous la section Ussel ouest/Le Sancy, les marches d'escalier des berges et les parties enrochées sont autant d'endroits où l'habitant des lieux peut laisser une marque de son passage. Preuve que les loutres s'accommodent bien de ce qui leur est proposé, on signalait la présence de traces laissées par ces animaux dès l'achèvement de ces passages.

De nombreuses empreintes caractéristiques de



**Photo 2**  
Dans les tunnels, des marches ont été posées à différentes hauteurs pour que le passage à sec soit possible même lors de crues importantes

*In tunnels, steps have been provided at different heights so that passage is possible even during major floods*

pattes dans la vase, des épreintes récentes sur des pierres et des marches attestent désormais de leur utilisation régulière.

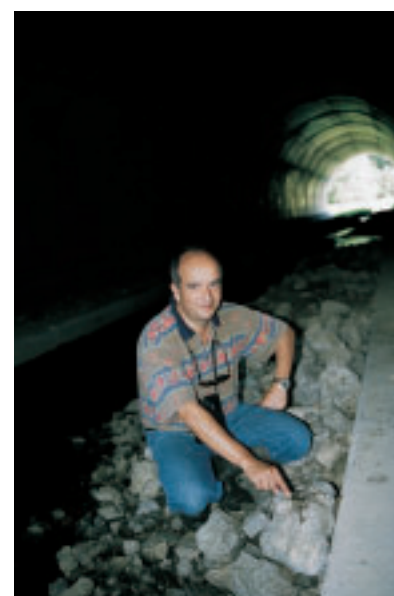
Un beau succès car les spécialistes savent bien que malgré les efforts, bon nombre de passages à loutres réalisés jusqu'ici s'étaient révélés inefficaces à l'usage. Du coup, la loutre, en dépit de sa présence discrète mais certaine, pourrait bien devenir l'un des symboles forts d'A89. Une image plutôt positive, car c'est l'animal emblématique de la protection de la faune sauvage au niveau européen.

## ■ LES PASSAGES À ANIMAUX SAUVAGES

Les autres espèces présentes ne sont pas oubliées pour autant : toujours sur cette même section aujourd'hui en service, les petits et les grands animaux, guidés par les clôtures, peuvent emprunter les 32 établissements de voiries, les cinq vallées surplombées par les viaducs, les 52 passages hydrauliques et les cinq ouvrages spécifiques qui leur sont destinés afin de traverser l'A89 (photo 6).

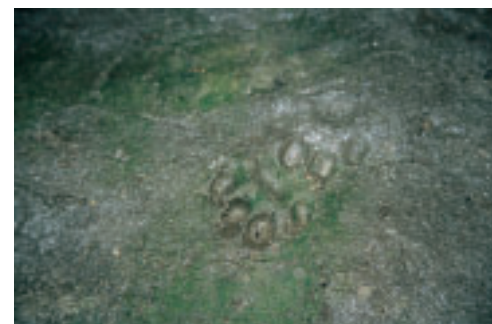
Parmi ces cinq ouvrages spécifiques, le passage du bois de Bonnaygues, sur la commune de Saint-Fréjoux, est le plus spectaculaire. Il crée une colline artificielle sous laquelle l'A89 donne l'impression de passer en tunnel. Mais quand on se trouve au-dessus de cet ouvrage en diabolos, qui ne fait pas moins de 15 m de large dans sa partie la plus étroite, l'autoroute, cachée par des clôtures paysagères et une double haie d'épineux et de charville, est invisible.

En effet, ASF a voulu faire de cet ouvrage un véritable pont de verdure. Pour cela, le béton des voûtes a été recouvert d'un mètre cinquante de matériaux rocheux et de terre afin d'y faire pousser des arbustes tels que le sureau commun et le noisetier. L'ouvrage offre ainsi aux animaux une visibilité rassurante sur l'autre rive.



**Photo 3**  
A l'intérieur du passage hydraulique de la Dozanne (section Ussel ouest/Le Sancy), un spécialiste de la loutre vient repérer des traces fraîches

*Inside the hydraulic passage of the Dozanne (Ussel Ouest/Le Sancy section), an otter specialist examines fresh tracks*



**Photo 4**  
Traces de loutre  
**Otter tracks**



## CONCLUSION

L'autoroute A89 présente encore, à ce jour, tous les stades de réalisation : études d'affinement du tracé pour certaines sections, travaux en cours sur d'autres et premier retour d'expérience sur la section en service à l'occasion d'un premier bilan environnemental.

La bonne gestion des questions environnementales impulsée par la maîtrise d'ouvrage du projet et surtout relayée par tous les intervenants de la phase des travaux a porté ses fruits. La mise en œuvre des plans de respect de l'environnement, des visites régulières et la présence sur le chantier d'un contrôle extérieur ont assuré la très bonne tenue générale du chantier et la prise en compte des espèces animales, végétales et de la ressource en eau à protéger. Pour conclure, saluons aussi les essais de nouvelles techniques respectueuses de l'environnement ainsi que les initiatives d'information des acteurs du chantier.



**Photo 5**  
**La loutre marque son territoire**  
*The otter marks its territory*



**Photo 6**  
**Le passage du bois de Bonnaygues**  
*Through the Bonnaygues woods*

## ABSTRACT

### The protection of the natural environment on the A89 motorway

F. Beaudu

From the meandering Isle river on the west to the borders of the Sancy, the A89 motorway between Bordeaux and Clermont-Ferrand goes through a mosaic of natural settings, alive with diversified fauna and flora with striking hydraulic and climatic contrasts.

Each motorway section thus represents a special project whose success calls for close cooperation between motorway operator ASF, contracting authorities, design offices specialising in the environment, government agencies and associations and, of course, contractors working on the project.

The article describes some of the more characteristic measures taken to protect the natural environment on the A89.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Protección de los medios naturales en la autopista A89

F. Beaudu

Desde los meandros del río Isle, por el oeste, hasta los confines del Sancy, la Autopista A89 que pone en comunicación las ciudades de Burdeos y Clermont Ferrand, atraviesa un mosaico de medios naturales, en donde abunda la fauna y la flora de una gran diversidad y regímenes hidráulicos y climáticos sumamente destacados.

Cada sección de autopista corresponde perfectamente a un proyecto particular cuyo logro se funda en la estrecha colaboración entre ASF, los directores del proyecto, las entidades de estudios especializadas en temas medioambientales, las asociaciones y los servicios del Estado y, naturalmente, las empresas participantes en las obras. Se describen en este artículo algunas acciones de protección del medio natural, entre aquellas más sobresalientes, en la autopista A89.



# L'autoroute A89



Photo 1  
Bassin  
de traitement  
des eaux  
sur Libourne  
ouest/Coutras  
Water treatment  
basin  
on the Libourne  
ouest/Coutras  
section

© P. Roy

## Libourne/Mussidan : 73 km ouverts en 2001

Lancés à l'automne 1996, les travaux de construction de l'autoroute A89 en Aquitaine (Gironde et Dordogne) se déroulent aujourd'hui sur 73 km. Entre Libourne et Mussidan, trois sections d'environ 25 km chacune seront simultanément mises en service à l'été 2001.

Le tracé se déroule ensuite dans la plaine, au sud de la RN89, entre la voie ferrée Bordeaux/Périgueux et le pied de coteaux, de St-Médard-de-Guizières jusqu'au département de la Dordogne.

L'A89 s'infléchit ensuite vers le sud-est dans des zones boisées pour contourner Montpon/Ménestérol par le sud. Après s'être développée au sud de la RN89, elle remonte sur les plateaux de la vallée de la Crempse avant de retrouver la vallée de l'Isle et le corridor de la RN89 à Sourzac.

La moitié du linéaire aquitain de l'autoroute A89 est aujourd'hui en travaux; les 73 km de Libourne ouest/Coutras seront mis en service à l'été 2001, soit trois sections simultanément.

Autour de Libourne, la traversée de la zone inondable à la confluence de l'Isle et de la Dordogne aura nécessité la conduite d'études hydrauliques très poussées, d'importants travaux préalables de traitement des sols et la construction d'un linéaire exceptionnel de viaducs et ouvrages de décharge.

Cinq ans après la déclaration d'utilité publique, les travaux en grande masse seront lancés, en Aquitaine, sur une quatrième et longue section de 32 km entre l'Est de Périgueux et Thenon, marquant davantage encore l'inscription du projet en Dordogne.

service à l'été 2001.

Se raccordant à l'ouest comme à l'est (Arveyres et Sourzac) sur des portions de la RN89 majoritairement à 2 x 2 voies, l'A89 mettra ainsi Bordeaux aux portes de Périgueux, divisant presque par deux le délai de parcours entre les deux agglomérations (figure 1).

### DU LIBOURNAIS AUX VALLÉES BOISÉES DE LA DORDOGNE

A son origine, à l'ouest, l'A89 se débranche vers le nord de la RN89 à 2 x 2 voies existante dite "Rocade sud-est de Libourne", franchit la voie ferrée Bordeaux/Paris et la RN89 puis la Dordogne au pied du Tertre de Fonsac, et contourne Libourne par l'ouest. Le tracé quitte ensuite la vallée de l'Is-

### L'ENVIRONNEMENT PROTÉGÉ

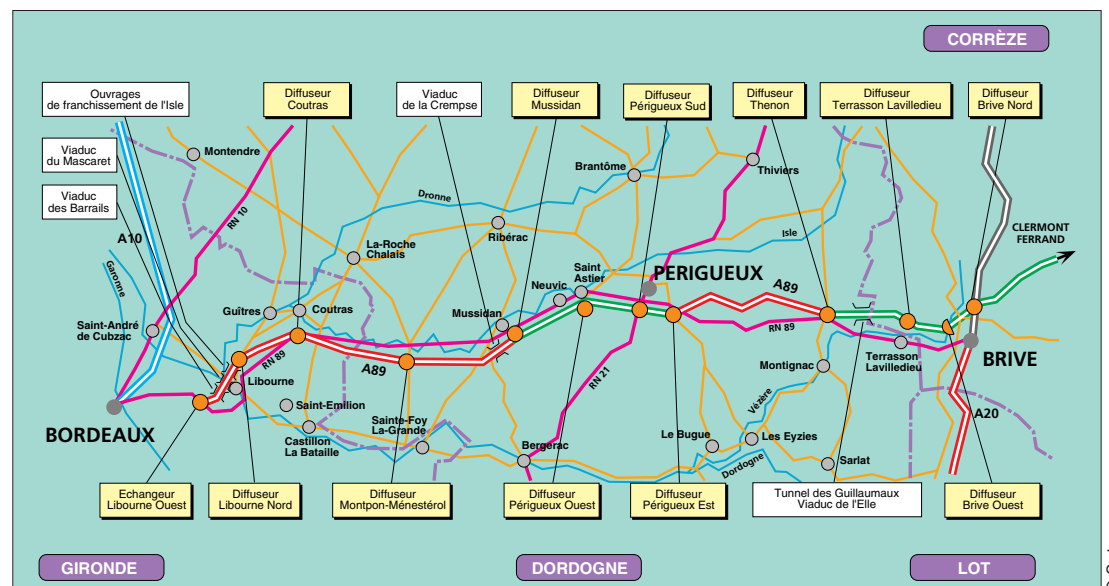
#### Protection contre le bruit

Des protections de type merlon ou écran sont mises en place pour protéger les habitations soumises à des niveaux de bruit supérieurs aux normes en vigueur.

#### Milieu naturel

D'ouest en est l'A89 traverse plusieurs zones naturelles d'intérêt faunistique et floristique entre Libourne et Mussidan : marais du petit et du grand

Figure 1  
Tracé schématique  
d'A89 en Aquitaine  
Route of the A89  
in Aquitaine



© Setec

# d'ouest en est

Brizard en Gironde, Landes du Lacet, forêt des Landes de la Charretière et de Gavardiès en Dordogne.

Des dispositifs de protection ont été mis en œuvre dans ces zones (aucun dépôt, ni emprunt de matériaux, protection et reconstitution de biotopes, lisières, mares...).

## Hydraulique

Le tracé de l'A89 se caractérise par :

- ◆ la traversée des vallées inondables de l'Isle et de la Dordogne, sur 12 km autour de Libourne, nécessitant le préchargement et le drainage préalables de sols fortement compressibles, la réalisation de nombreux ouvrages hydrauliques de décharge... ;
- ◆ la traversée de deux zones sensibles en Dordogne au plan hydraulique et hydrologique : les bassins versants de la Beauronne et de la Crempse ;
- ◆ sur tout le linéaire, des dispositifs de protection des eaux souterraines et superficielles sont mis en

place : collecte et traitement des eaux de plate-forme avant rejet dans le milieu naturel, dispositifs anti-renversement des véhicules... (photo 1).

## Patrimoine

Une convention a été établie avec la Direction régionale des Affaires culturelles d'Aquitaine et l'Association pour les Fouilles archéologiques nationales en vue de la sauvegarde des éventuels vestiges présents sous l'autoroute. Cinq sites ont fait l'objet de fouilles de sauvegarde :

- ◆ le chemin de Bossuet, les Vergnasses en Gironde ;
- ◆ la Madeleine, le Reymondeau et l'Enclos en Dordogne (photo 2).

## Paysage

D'une façon générale, talus, merlons, rétablissements de communication, échangeurs, abords de l'autoroute et des gares de péage font l'objet d'un enherbement systématique et de plantations en harmonie avec les espèces des paysages traversés.

## LES DATES CLÉS

- 01/96 : déclaration d'utilité publique de la section Arveyres/St-Julien-Puy-Lavèze
- 01/98 : déclaration d'utilité publique de la section St-Julien-Puy-Lavèze/Combronde
- Printemps 97 : Travaux en grande masse Coutras/Montpon
- Printemps 98 : Travaux en grande masse et viaducs Libourne ouest/Coutras
- Printemps 99 : Travaux en grande masse Montpon/Mussidan
- Été 2001 : Objectif d'ouverture de Libourne/Mussidan

## SUR LE PLAN FONCIER

Les trois sections constitutives du linéaire Libourne ouest/Mussidan représentent une surface acquise par ASF, au nom de l'Etat, d'environ 1 190 ha.

Une centaine de bâtis ont également été touchés, notamment dans l'environnement péri-urbain dont l'habitat est très dispersé, à proximité de Libourne.

Les acquisitions ont été réglées à l'amiable dans 92 % des cas, en moyenne, sur les trois sections.

Le réaménagement foncier entraîné sur certaines communes par le passage de l'A89 concerne 7 800 ha entre Libourne et Mussidan.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maitre d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France : Direction opérationnelle de la Construction de Bordeaux

### Maitre d'œuvre général

Scetauroute CSO



Photo 2  
Fouilles archéologiques  
en Dordogne

*Archaeological  
digs in Dordogne*

© P. Roy



**Figure 2**  
**Croquis d'architecte barrière**  
**de péage pleine voie de Libourne ouest**  
*Architectural sketch*  
*of the Libourne Ouest full-width toll gate*



© Camborde Lamaison

## LIBOURNE/MUSSIDAN EN CHIFFRES

- 73 km dont 36 km en Gironde et 37 km en Dordogne
- 25 communes
- 3 sections
- 4,5 milliards d'investissement
- 92 ouvrages d'art courants
- 2 ouvrages d'art exceptionnels :
  - le viaduc des Barrails
  - le viaduc du Mascaret
- 4 ouvrages d'art non courants :
  - 3 franchissements de l'Isle (en Libournais)
  - le viaduc de la Crempse (en Dordogne)
- 6 540 000 m<sup>3</sup> de déblais
- 10 000 000 m<sup>3</sup> de remblais (photo 3)



© P. Roy

**Photo 3**  
**Terrassements**  
**sur Montpon/Mussidan**  
*Earthworks on the*  
*Montpon/Mussidan section*

## LE SYSTÈME D'EXPLOITATION

- 2 barrières de péage pleine voie à Arveyres (Libourne ouest) et Sourzac (Mussidan) (figure 2)
- 3 diffuseurs :
  - Libourne ouest (Les Billaux)
  - Coutras (Abzac)
  - Montpon
- 1 diffuseur différé, près de Mussidan
- 1 centre d'entretien, gendarmerie, logements du personnel ASF d'astreinte à Abzac, à proximité de la gare de péage de Coutras
- 1 couple d'aires de repos (aires des Vignes nord et sud) à St-Denis-de-Pile et une aire de services (des Palombières) unilatérale bidirectionnelle à Gours, en Gironde

## Libourne ouest/Coutras

### Deux années d'études hydrauliques détaillées

Les études hydrauliques détaillées de la section Libourne ouest/Coutras de l'autoroute A89 concernaient le franchissement des cours d'eau Isle et Dordogne, et de leur lit majeur. Elles avaient pour but de déterminer un dimensionnement optimum des ouvrages permettant de minimiser, voire d'annuler, l'impact hydraulique du projet dans cette zone inondable. Le décret de la déclaration d'utilité publique du 10 janvier 1996 est assorti d'une annexe qui prévoit : "Dans la traversée des vallées de la Dordogne et de l'Isle, l'autoroute A89 ne devra pas modifier sensiblement le niveau des crues de ces rivières. A cet effet, la position et les dimensions des ouvrages hydrauliques à aménager, dont l'ouverture totale sera d'au moins 2500 m de longueur, devront être étudiées pour ne pas exhausser le niveau de crue de référence de plus de 2 cm dans les zones sensibles et 5 cm dans le reste de la zone inondable" (photo 4).

Pour réaliser les études détaillées permettant de concevoir le projet répondant à ces objectifs, ASF s'est appuyée sur l'organisation suivante :

- ◆ maître d'ouvrage : Autoroutes du Sud de la France, direction opérationnelle A89 ouest ;
- ◆ maître d'œuvre principal : Scetauroute, direction Projet A89 ;
- ◆ bureau d'études : le groupement Sogreah Ingé-

nerie, Sogelerg Sogreah Sud-Ouest, Laboratoire Hydraulique de France, suite à une désignation après appel d'offres.

Dans le cadre de la définition des hypothèses d'étude, une crue de projet a été définie en associant un coefficient de marée de 110, une surcote au Verdon de 1,60 m et un débit fluvial sur la Dordogne de 4 000 m<sup>3</sup>/s (fréquence centennale) et sur l'Isle de 1 200 m<sup>3</sup>/s (fréquence centennale).

L'état de référence a pris en compte la géométrie du lit majeur et les modifications en cours de réalisation : bassin d'aviron de Libourne, dans sa configuration terminale et en prenant en compte les contraintes imposées au titre de la loi sur l'Eau (arasement du bourrelet nord), et remblais des Dagueys, d'une surface de 37 ha, en prenant aussi en compte les contraintes imposées au titre de la loi sur l'Eau (limitation de l'extension nord-ouest).

## DES OUTILS COMPLÉMENTAIRES

### Le modèle physique

D'une longueur de 70 m et d'une largeur d'environ 40 m, le modèle physique représentait l'ensemble de la boucle d'Arveyres, ainsi que la partie termi-



nale de la vallée de l'Isle. Avec une surface utile de près de 3000 m<sup>2</sup>, cet outil est un des plus grands modèles jamais réalisés en Europe.

Il représentait très fidèlement la topographie des vallées et la géométrie du lit de la Dordogne et de l'Isle, ainsi que tous les ouvrages et infrastructures existants (digues, ponts, viaduc SNCF, RN89...) et protégés (remblai autoroutier et ouvrages).

Il a été construit à l'échelle horizontale 1/100<sup>e</sup> et à l'échelle verticale 1/50<sup>e</sup>.

Pour un événement hydrologique donné, les écoulements ont été simulés en injectant dans le modèle les débits correspondants de la Dordogne et de l'Isle. La correspondance entre les débits naturels et les débits du modèle est définie par les règles scientifiques de la similitude. Ainsi un débit de 1 litre/seconde sur le modèle correspond environ à 35 m<sup>3</sup>/s en nature.

Le modèle était équipé de tous les instruments nécessaires à la mesure, pour chaque essai, des débits des niveaux d'eau et des vitesses de l'écoulement au voisinage des ouvrages.

Les niveaux d'eau étaient mesurés grâce à une quarantaine de capteurs répartis sur toute la surface du modèle, dont la précision de lecture est de 2 ou 3 dixièmes de millimètre. Les vitesses au voisinage des ouvrages étaient enregistrées par un système informatique de trajectovidéographie (prises de vues vidéo - système de traitement de l'image - programme informatique de traitement).

Le déroulement général des essais comprenait les phases suivantes :

- ◆ l'étalonnage du modèle, pour vérifier que les niveaux mesurés sur le modèle sont en concordance avec ceux observés en nature ;
- ◆ la simulation de l'état de référence, c'est-à-dire avant l'implantation de l'autoroute ;
- ◆ la simulation de l'état aménagé, c'est-à-dire après implantation de l'autoroute.

Pour une simulation donnée, l'impact hydraulique du projet était défini en comparant les mesures effectuées sur le modèle dans l'état aménagé et dans l'état de référence, et en confrontant ces résultats à ceux issus des simulations effectuées sur le modèle numérique.

### Le modèle mathématique

Le modèle mathématique a été construit à l'aide du calcul Telemac-2D, élaboré par le LHF (EDF/DER). Il couvrait l'ensemble du domaine d'étude soit 15 km dans la plaine de l'Isle et 10 km dans la plaine de la Dordogne.

Sur l'Isle, il s'étendait de Guîtres jusqu'à la confluence de l'Isle avec la Dordogne traversant, du nord au sud, les communes de Saint-Denis-de-Pile, Les Billaux et Libourne.

Dans la plaine de la Dordogne, il s'étendait d'est en ouest, de la rocade sud de Libourne jusqu'au lieu-dit La Rivière sur la commune de Saint-Michel-



**Photo 4**  
Ouvrage hydraulique de décharge  
*Hydraulic discharge structure*

© P. Roy



**Figure 3**  
Modèle mathématique  
*Mathematical model*

© ASF

de-Fronsac, aval du modèle. Ce modèle se composait d'un ensemble de points répartis dans le domaine et reliés entre eux par des lignes formant des triangles. L'ensemble de ces triangles couvre entièrement le domaine en un réseau nommé maillage.

Les points sont plus rapprochés les uns des autres au voisinage des détails importants à modéliser (tels que les ouvrages de décharge) et plus relâchés en plaine. Les détails les plus fins sont de quelques mètres. Au total, le modèle compte environ 30 000 points (figure 3).



Ce modèle est bidimensionnel : il fournit de ce fait, à chaque instant, en tout point, à la fois le niveau d'eau, mais aussi l'intensité de la vitesse et la direction du courant. La réalisation et l'exploitation de cet outil numérique suivent le même schéma que le modèle physique (étalonnage du modèle, simulation de l'état de référence, simulation de l'état aménagé).

A n'importe quel moment d'un événement hydrologique et en n'importe quel lieu, il était possible de déterminer et d'analyser les quantités d'eau présentes, mais aussi la vitesse de l'écoulement et donc des débits, ou encore de déterminer les chemins préférentiels des écoulements selon la taille d'un ouvrage par exemple.

### ■ LE PLANNING DES ÉTUDES

Il s'est présenté comme suit :

- ◆ études de terrain ;
- ◆ construction des modèles physique et numérique : 1996 ;
- ◆ définition de l'état de référence et de l'état aménagé ;
- ◆ optimisation du projet et configuration des ouvrages : 1997.

Les résultats définitifs ont été intégrés dans le dos-

sier d'enquête publique au titre de la loi sur l'Eau qui a eu lieu sur l'ensemble des communes traversées par le projet entre le 3 juin et le 3 juillet 1997.

### ■ LE COMITÉ DE SUIVI DES ÉTUDES HYDRAULIQUES

Garant du contrôle des engagements précisés en annexe du décret de DUP, un comité de suivi des études hydrauliques a été mis en place, présidé par le sous-préfet de Libourne, par délégation du préfet de Région.

Le comité de suivi était constitué des principales administrations concernées par le projet autoroutier :

- ◆ Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement ;
- ◆ Direction départementale de l'Equipement ;
- ◆ Service maritime et de la navigation de la Gironde ;
- ◆ Coordonnateur : mission inter-services de l'Eau pour les vallées inondables ;
- ◆ Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt ;
- ◆ Direction régionale de l'Environnement.

Ce comité a suivi l'avancement des études et en a validé les étapes clés et les résultats.

## Libourne ouest/Coutras Des terrassements complexes en zone inondable

**Photo 5**  
Mise en place  
des drains verticaux  
*Setup of vertical  
drains*



L'été 2000 marque la fin des terrassements sur la section Libourne/Coutras. A la confluence des vallées inondables de l'Isle et de la Dordogne, la mise en œuvre difficile du remblai autoroutier aura nécessité un traitement préalable de sols fortement compressibles.

Une des particularités des terrassements de la section 1 Libourne ouest/Coutras est la présence, sur environ 10 km, de sols de mauvaise à très mauvaise qualité nécessitant le recours à des techniques particulières, préalables à la réalisation de la plate-forme de l'autoroute.

Les sols-supports rencontrés par le projet autoroutier dans les vallées de l'Isle et de la Dordogne sont des sols mous et gorgés d'eau, dans des zones marécageuses ou humides. Sans traitement préalable, la pression directe du remblai de l'autoroute sur ces sols aboutirait soit à la rupture du terrain naturel, soit à un tassement très lent et continu.

Ces sols dits "compressibles" ont été consolidés avant la mise en place des chaussées de l'autoroute. L'eau qu'ils contiennent a été évacuée en provoquant de manière accélérée les tassements prévisibles, avant la réalisation de la couche de forme et des chaussées.





**Photo 6**  
**Mise en place**  
**du remblai**  
**de préchargement**  
**sur Bidim**

*Placing preloading  
 fill over a Bidim*

© Y. Collet

## ■ DRAINAGE ET PRÉCHARGEMENT

Des drains verticaux ont été implantés suivant un maillage triangulaire de 1,00 m à 1,50 m. Ils descendent jusqu'au substratum, la couche dure de marnes sous les sols compressibles. Plus de 1 300 kilomètres de drains ont été utilisés. L'ensemble des zones a reçu ensuite une surcharge de remblai provoquant une pression suffisante pour permettre le drainage vertical et l'accélération des tassements (photo 5).

Ce remblai est constitué en partie de matériaux drainants, tels que des sables, ou graves propres, qui permettent l'évacuation de l'eau dans des fossés autour du remblai. Il est supérieur au poids final de la future autoroute. La surcharge est enlevée lorsque le tassement attendu est réalisé à 95 %. En moyenne, le tassement attendu est de 1 m à 1,50 m dans les zones courantes, avec des valeurs proches de 2,20 m dans une zone très critique en rive gauche de la Dordogne (photo 6).

## ■ PHASAGE

Le préchargement a été réalisé en deux phases afin de garantir la stabilité du remblai. Des "banquettes latérales" de stabilité ont épaulé le remblai de part et d'autre pendant la phase de tassement. Elles recevront ensuite les fossés de collecte des eaux nécessaires à la protection de l'environnement lors de l'exploitation de l'autoroute.

Le préchargement dure entre 3 mois et 1 an ce qui explique l'exceptionnelle longueur des travaux de terrassement sur cette section, 28 mois au lieu de 18 à 20 mois de manière générale.

## ■ LE SUIVI DES TASSEMENTS

L'ensemble de ces tassements fait l'objet d'un suivi permettant de comparer les valeurs obtenues aux valeurs théoriques :

◆ suivi topographique en surface grâce à des tiges métalliques au fur et à mesure de la montée des remblais (photo 7) ;

◆ suivi par des cellules de pression interstitielle implantées dans le terrain et reliées à un centre de mesures pour un contrôle en continu (photo 8).

## ■ BIENTÔT LES CHAUSSÉES

Viaducs et travaux en grande masse sont terminés autour de Libourne. En avril 2000, le marché fourniture et mise en œuvre des chaussées a été attribué au groupement Routière Morin/Carrières de Thiviers/Carrières d'Exideuil/Calcaires du Périgord/Arbex.

C'est la future aire de repos des Vignes, à Saint-Denis-de-Pile qui accueille le stockage des granulats et la centrale de fabrication des enrobés.

Les travaux de fabrication et de mise en œuvre des chaussées sont lancés à la fin de l'été 2000.



**Photo 7**  
**Sonde de suivi**  
**des tassements**

*Earthwork monitoring  
 probe*

© P. Roy



**Photo 8**  
**Appareillage de recueil**  
**des données du suivi**  
**des tassements**

*Earthwork monitoring  
 data collection  
 apparatus*

© P. Roy





## Section Coutras/Montpon : gare de Coutras (photo 9)

### La symbolique du passage



© P. Guignard

**Photo 9**  
Section courante Coutras/Montpon  
On the Coutras/Montpon section

**P**our la gare sur diffuseur de Coutras, Alain Le-Balh et son associée Dominique Pidance ont proposé à ASF une architecture de bois. Cette "gare-barrière" évoque et souligne le passage, comme le précise Alain Le-Balh.

- Est-ce la première fois que vous travaillez sur autoroute ?

**Alain Le-Balh** : Nous avons l'habitude de travailler en général pour des équipements plutôt techniques, des stations pour Gaz de France par exemple. Sur autoroute, nous avons commencé avec quatre gares sur diffuseur, pour l'A29, assez innovantes sur le plan technique. Nous avons continué les concours et remporté notamment pour ASF la réalisation du Musée de la Pierre de Crazannes, entre Saintes et Rochefort, puis pour l'A89, cinq gares de diffuseurs, un centre d'entretien, un point d'appui et une gardarmerie.

- Comment avez-vous obtenu cette impression de volume ?

**A. Le-Balh** : En implantant des poteaux sur chaque îlot : en tout seize poteaux, en lamellé collé de pin du Nord. Pour accentuer la symbolique du passage, certains poteaux sont reliés en arc et forment des portiques sur les voies (photo 10).

- Le bois est omniprésent ?

**A. Le-Balh** : La charpente en coque est réalisée en lamellé collé. L'habillage de sous-face est lui aussi en bois. Il est constitué de panneaux conçus pour l'extérieur, avec un parement en okoumé, un bois exotique imputrescible. Pour alléger les liaisons entre poutres et poteaux – en bois, elles sont souvent massives –, nous avons opté pour des liaisons métalliques, sous la forme de quatre tubes reposant sur les poteaux. L'auvent périmétrique est, lui, bardé en acier laqué. Enfin, pour amener la lumière et alléger l'ensemble, nous avons inséré une verrière entre la coque en bois et la casquette en métal.

- L'ensemble aura la couleur du bois ?

**A. Le-Balh** : La partie bois aura un ton un peu jaune, assez chaud. Nous l'obtenons en passant un lasuré naturel sur les éléments de charpente. Quant aux parements, ils sont recouverts d'une lasure composée de manière à retrouver la tonalité de la charpente. Les parties métalliques sont, elles, peintes en gris anthracite, avec un gris d'un ton plus clair pour le bardage de casquette (photo 11).

- Comment avez-vous harmonisé le bâti de la gare avec le centre entretien voisin ?

**A. Le-Balh** : Le centre d'entretien a été réalisé en tandem avec un autre couple architectes Badia-Berger. Nous en avons dégagé les grandes lignes ensemble puisque nos deux ouvrages coexistent. Ce centre d'entretien est constitué de parties assez massives, les ateliers, un peu écartées de l'autoroute et de locaux administratifs et techniques. Pour les traiter, nous avons retenu le principe d'un mur bahut linéaire d'une centaine de mètres de long, perpendiculaire à l'auvent de la gare. Nous avons habillé ce mur, de manière un peu originale, avec des pierres éclatées. Et comme pour la gare voisine, au-dessous du soubassement, un bandeau vitré court tout le long de la façade et dégage complètement la toiture. Pour apporter de la légèreté et de la lumière.

- Coutras s'inscrit dans le même esprit que vos réalisations précédentes ?

**A. Le-Balh** : Pour ce site, nous avons proposé une architecture en bois, un projet modeste, de lecture simple. Jusqu'à maintenant, on essayait d'avoir le minimum de points d'appui possibles pour ménager la vue sur la gare. Mais cette architecture "high tech" nous paraissait inappropriée. A Coutras, on voulait une barrière plus familière, qui donne l'impression qu'on rentre à l'intérieur du volume.

**Photo 10**  
Auvent de la gare de péage de Coutras  
Canopy of the Coutras toll plaza



© P. Roy



**Photo 11**  
**Auvent de la gare**  
**de péage de Coutras**  
*Canopy*  
*of the Coutras toll plaza*

© P. Roy



**Photo 12**  
**Site de l'échangeur**  
**de Coutras**  
*Site of the Coutras*  
*interchange*

© M. Le Collen

## ■ DISTRICT ASF À COUTRAS

Le site de la gare de péage de Coutras (photo 12), sur la commune d'Abzac en Gironde, abritera également un district ASF chargé d'assurer la maintenance de l'autoroute et la sécurité des clients et de veiller 24 heures sur 24 à la régulation du trafic sur la portion Libourne/Mussidan.

Rattaché à la direction régionale d'Exploitation d'ASF à Brive (A89 et A20), il regroupera l'activité péage ainsi que l'accueil et l'information des clients et

les activités de viabilité (entretien du réseau, des équipements, du patrimoine végétal, interventions de première urgence et assistance aux clients, balisages nécessaires à l'exploitation, service hivernal...).

Un peloton de gendarmerie est également installé sur le site de Coutras à proximité immédiate de la gare de péage.

Enfin, huit logements situés à proximité de la gare accueilleront les salariés d'ASF effectuant des "astreintes".

## Section Montpon/Mussidan : le viaduc de la Crempse est terminé

Le seul ouvrage d'art non courant présent sur une section actuellement en cours en Dordogne est le viaduc de la Crempse, dont la construction vient de s'achever (photo 13).

Le viaduc de la Crempse, long de 307 m, assure la traversée par l'autoroute A89 de la vallée du ruisseau de la Crempse, sur la commune de Bourgnac, à environ 2 km au sud-est de Mussidan.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maitre d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France (ASF)

#### **Maitre d'œuvre**

Scetauroute

#### **Architecte**

Cabinet Lavigne et Montois

#### **Groupement d'entreprises**

- Nord France TP, mandataire (génie civil)
- Baudin Chateauneuf (charpente métallique)

© P. Roy



**Photo 13**  
**Terrassements**  
**sur Montpon/Mussidan**  
*Earthworks*  
*on Montpon/Mussidan section*





© P. Roy

**Photo 14**  
Viaduc de la Crempse sur Montpon/Mussidan  
*Crempse viaduct on the Montpon/Mussidan section*

**Photo 15**  
Viaduc de la Crempse sur Montpon/Mussidan  
*Crempse viaduct on the Montpon/Mussidan section*



© P. Roy



Il survole, à presque 20 m au-dessus du terrain naturel, l'ensemble de la vallée de la Crempse et enjambe successivement d'ouest en est, la VC2, le lit mineur du ruisseau et la RD38 à flanc de coteau est. Le gabarit minimum dégagé au droit de la RD38 est de 4,60 m de hauteur sur 8,50 m de large (photo 14).

De type ossature mixte, l'ouvrage comprend deux tabliers. Chacun a une largeur utile de 11 m, portant deux voies de circulation de 3,5 m, une bande d'arrêt d'urgence de 3 m et une bande dérasée de gauche de 1 m. Entre les deux tabliers, un vide central de 0,50 m sera fermé par un caillebotis. Il est découpé en sept travées dont la longueur varie de 29,75 m aux extrémités à 49,50 m au centre.

Les tabliers reposent sur six couples de piles en béton dont la hauteur varie de 11 à 19 m. Les piles sont traitées sous forme de fûts rectangulaires à joint creux central, s'évasant vers le haut en une courbe harmonieuse. Les fondations sont constituées en majorité de semelles superficielles reposant sur le substratum calcaire ou par des micropieux (pour deux culées et deux piles).

Les fouilles des semelles ont été réalisées à l'intérieur de batardeaux en palplanches. Les piles ont été construites à l'aide de coffrages grimpants.

La charpente métallique a été approvisionnée sur le site par tronçons acheminés par la route depuis Châteauneuf-sur-Loire et assemblés sur place, dans le déblai est. Elle a été lancée depuis la culée à l'aide d'un avant-bec.

Le hourdis a ensuite été coulé en place sur toute la largeur du tablier à l'aide d'un outil coffrant mobile, par plots successifs de 12,40 m (photo 15).

**LE VIADUC DE LA CREMPSE :  
LES PRINCIPALES QUANTITÉS**

**Ouvrage à ossature mixte :**

- Longueur : 307 m
- Béton : 6 830 m<sup>3</sup>
- Aciers passifs : 1 090 t
- Acier charpente : 1 400 t

**Périgueux est/Thenon :  
32 kilomètres lancés au cœur  
de la Dordogne**



© D. Repérant

**Photo 16**  
Fenêtre de reconnaissance archéologique préalable sur Périgueux est/Thenon

*Prior archaeological reconnaissance window on the Périgueux est/Thenon section*

La section Périgueux est/Thenon concerne 11 communes sur 32 km entre Saint-Laurent-sur-Manoire et La Bachellerie. Depuis le diffuseur de Périgueux est (Saint-Laurent-sur-Manoire) raccordé à la RN89, le tracé de l'A89 traverse un secteur de coteaux calcaires boisés et de vallons agricoles jusqu'à Eyliac. Après un léger infléchissement vers le sud, l'A89 remonte sur le causse de Limeyrat au nord-est avant de redescendre dans le bassin versant de la Vézère vers la RN89 sur laquelle se raccorde le diffuseur de Thenon (La Bachellerie).

La voie ferrée est franchie à trois reprises à St-Laurent-sur-Manoire à Ajat et Azerat.

**■ TRAVAUX PRÉPARATOIRES  
EN COURS**

Après une année 1999 consacrée à la concertation locale, sur le tracé, les premières opérations





**Figure 4**  
**Tracé schématique section Périgueux est/Thenon**  
*The Périgueux est/Thenon section*

de terrain ont été lancées à la fin du printemps 2000 (figure 4).

Après le déboisement, les archéologues ont entamé les sondages de reconnaissance archéologique en mai 2000. Des "fenêtres" de 2 m de large sur 10 ou 20 m de long sont ouvertes à la pelle mécanique sur l'axe de l'autoroute pour déceler tout indice éventuel susceptible de déclencher une fouille de sauvegarde (photo 16).

Les déviations de réseaux sont en cours sur tout le linéaire jusqu'à la fin de l'année 2000 : assainissement, adduction d'eau potable, téléphone, électricité, gaz... autant de réseaux interceptés par le tracé de l'A89 et qu'il convient de renforcer ou déplacer.

Des travaux préparatoires (accès de chantier avec ouvrages) sont programmés à l'automne 2000 et les travaux de terrassement en grande masse débuteront au début 2001. L'objectif d'ouverture de cette section est fin 2003.

### **PÉRIGUEUX EST/THENON EN CHIFFRES**

- 32 kilomètres
- 11 communes
- 6,5 millions de m<sup>3</sup> de déblais
- 4,9 millions de m<sup>3</sup> de remblais
- 39 ouvrages d'art courants
- 2 diffuseurs à :
  - Saint-Laurent sur Manoire (Périgueux est)
  - Thenon (La Bachellerie)
- 1 barrière de péage pleine voie à Thenon, avec un centre d'entretien
- 1 couple d'aires de repos phasées
- 1,5 milliard d'investissement

### **ABSTRACT**

**The A89 motorway from west to east**

Half of the A89 motorway's stretch through the Aquitaine region is today under construction. The 73 km from Libourne Ouest/Coutras will go into service in the summer of 2001, with three sections being commissioned simultaneously.

Around Libourne, the crossing of the flood zone at the confluence of the Isle and the Dordogne will have required very thorough hydraulic studies, significant prior soil treatment works and the construction of an exceptional span of viaducts and discharge structures. Five years after the public utility notification, the bulk of the work will have been initiated, in the Aquitaine region, over a fourth section 32 km long between the east of Périgueux and Thenon, marking even more the presence of the project in Dordogne.

### **RESUMEN ESPAÑOL**

**La autopista A89 de oeste hacia este**

La mitad del trayecto lineal de la autopista A89 en Aquitania se encuentra actualmente en obras. Los 73 km de Libourne oeste/Coutras entrarán en servicio durante el verano de 2001, o sea, tres secciones simultáneamente. En torno de Libourne, la travesía de la zona inundable ubicada en la confluencia de los ríos Isle y del Dordogne ha precisado la ejecución de estudios hidráulicos de suma importancia, importantes trabajos preliminares de tratamiento de los terrenos y la construcción de un número importante de viaductos y estructuras de descarga. Transcurridos cinco años desde la decla-

ración de utilidad pública, las obras de gran cuantía se habrán de iniciar, en Aquitania, en una cuarta y larga sección de 32 km entre el este de Périgueux y Thenon, que habrá de poner de manifiesto más aún la inscripción del proyecto en Dordogne.

# L'A89 en Aquitaine : 3,5 km de viaducs autour de Libourne

73 km, soit la moitié du linéaire aquitain de l'autoroute A89, sont aujourd'hui en travaux entre Libourne (Gironde) et Mussidan (Dordogne).

La section Libourne/Coutras, longue de 25 km et entièrement située en Gironde, constitue la première section opérationnelle, dans le sens ouest-est, des travaux de construction.

Entamée en 1998, la réalisation de cette section s'achèvera à la mi-2001.

Outre les difficultés humaines liées au passage dans une zone périurbaine dont l'habitat est dispersé, l'autoroute A89 traverse autour de Libourne, sur plus de 10 km, une vallée inondable, à la confluence de l'Isle et de la Dordogne. Afin d'assurer "la transparence" du remblai autoroutier (4,7 millions de m<sup>3</sup> nécessaires) et de respecter l'engagement de l'Etat précisé dans le décret de déclaration d'utilité publique (DUP), les ouvrages d'art courants, les viaducs de franchissement des obstacles naturels (Dordogne, Isle) ou des infrastructures existantes (voie TGV Bordeaux-Paris, RN 2089) ont été positionnés et dimensionnés et de nombreux ouvrages hydrauliques ont été aménagés afin de minimiser, voire d'annuler, l'impact hydraulique du projet dans la zone inondable.

Ainsi :

- viaducs et ouvrages de décharge constituent un linéaire de 3,5 km d'ouverture sur les premiers kilomètres de la section ;
- 18 petits ouvrages hydrauliques ont été construits dans la zone inondable ;
- 11 ouvrages hydrauliques ont également été aménagés hors des zones inondables ;
- 27 hectares ont été arasés de part et d'autre des ouvrages pour améliorer et pérenniser les écoulements.

Par ailleurs, les sols compressibles dans la zone inondable ont imposé la mise en œuvre de traitements préalables aux terrassements : 1 300 km de drains verticaux forés parfois jusqu'à 15 m de profondeur et préchargement en deux ou trois phases avec banquettes pour des tassements attendus variant de 1 m à 2,20 m.

## A89 EN AQUITAINE

- 148 km
- 49 communes
- 8 milliards de francs d'investissement

### **Maître d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France :  
direction d'Opérations de Bordeaux

### **- Maître d'œuvre**

Scetauroute C.S.O et Setec

# Le pont du Mascaret

**Le franchissement de la Dordogne pour l'autoroute A89 a nécessité la réalisation d'un pont de 540 m de long. Le délai d'exécution des deux tabliers a été de 24 mois. Outre la hauteur variable des poutres métalliques, la grande particularité de cet ouvrage a été sa méthode de mise en place qui a nécessité l'intervention d'une bigue de 400 t de capacité pour poser cinq colis dont trois d'un poids de 360 t pour une longueur de 95 m. Pour permettre la pose de ces colis, une estacade de 75 m de long pour 20 m de large a été conçue et mise en place au-dessus de la Dordogne pour lancement. Les colis étaient assemblés deux par deux sur la rive au-dessus de l'estacade puis ripés transversalement en extrémité de celle-ci. Les colis étaient stockés en attendant l'intervention de la bigue afin d'effectuer une semaine complète de pose (un colis par jour).**

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maitre d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France (ASF)

### Maitre d'œuvre

Scetauroute

### Architecte

Groupement Morris - Renaud - Naert - Mayeur

### Groupement d'entreprises

- Bisseuil - Bouygues : génie civil
- Baudin Chateauneuf : lot métal
- Chantiers Modernes - Balineau : terrassements
- Spil : protection anticorrosion

## ■ GÉNÉRALITÉS

Le pont du Mascaret est un ouvrage de l'autoroute A89 reliant Bordeaux à Clermont-Ferrand. Il franchit la Dordogne entre les communes d'Arveyres et de Fonsac, près de Libourne, dans le département de la Gironde.

L'ouvrage est constitué de deux tabliers de type bi-poutre mixte de 540 m de long comportant notamment trois travées de 95 m. Les poutres métalliques ont une hauteur constante égale à 2,25 m sur les travées à terre et variable de 2,25 m à 4,60 m sur les travées principales franchissant la Dordogne (travées de 95 m).

L'ensemble de l'ouvrage est courbe avec un rayon de 8000 m.

## ■ CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION DE L'OUVRAGE

La conception générale de l'ouvrage est tout à fait classique pour ce type de tablier. On notera les points particuliers ci-dessous.

Les entretoises d'appuis servent au vérinage de l'ouvrage en service. Cette disposition qui amène une diminution de l'encombrement longitudinal des piles impose une augmentation de la hauteur des entretoises : 2 500 mm pour des poutres de 4 600 mm de hauteur.

Les sollicitations dans l'entretoise dues au vérinage imposent d'importants cordons de soudure à la liaison de l'entretoise sur le montant d'appui :

- ◆ soudures de 14 mm pour une âme de 40 mm d'épaisseur ;
- ◆ soudures de 11 mm pour des semelles d'épaisseur 40 mm.

Dans les zones d'appui, il a été mis en place des tôles à épaisseur variable. Celles-ci ont permis un gain de poids de l'ordre de 100 t et la suppression des joints d'atelier dus aux changements d'épaisseur.

Le montant d'appui initialement composé d'un té

côté intérieur et d'un auget côté extérieur a été remplacé par un système de double té (figure 1).

Cette disposition permet un meilleur fonctionnement pour la reprise des moments d'encastrement et limite la consommation de matière et les cordons de soudure du montant.

Afin de respecter l'aspect architectural, des tôles de fermeture ont été disposées entre la semelle du té extérieur et l'âme de la poutre.

## ■ FABRICATION

Les plans d'exécution ont été réalisés sur un logiciel de DAO (Dessin assisté par ordinateur) en trois dimensions qui permet la réutilisation des données informatiques pour la programmation des machines à l'atelier. Ainsi les bancs d'oxycoupage à commande numérique ont permis de découper les âmes à la géométrie voulue en intégrant la contre-flèche prévue sur les plans d'exécution, et les retraits de soudure.

La précision de cette opération est le point de départ d'un processus de fabrication qui, en permettant de fabriquer les poutres avec des tolérances géométriques définies, évite les opérations de montage à blanc.

Les soudures bout à bout ont été réalisées à l'aide d'un portique de soudure automatique sous flux solide.

Ensuite, les poutres ont été reconstituées sur une machine à PRS (Profilé reconstitué soudé) qui permet de fabriquer des éléments jusqu'à 5670 mm de haut.

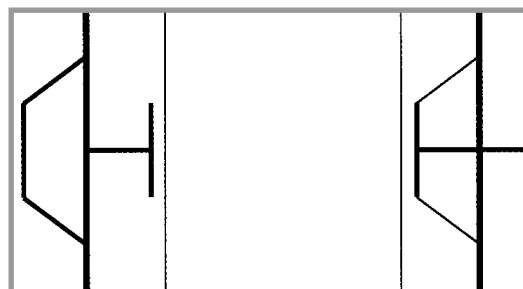
Il est à noter que, pour les tronçons sur appuis, du fait de la forte variation de hauteur, la soudure de la semelle inférieure ne pouvait pas être réalisée de manière automatique. Après reconstitution du té supérieur, la semelle inférieure a donc été forgée puis pointée sur la poutre, avant que les soudures ne soient réalisées à l'aide de chariots automatiques (photo 1).

## ■ TRANSPORT

Les contraintes de transport ont limité les dimensions et le poids des poutres. En l'occurrence, les tronçons les plus lourds et les plus hauts, avaient une longueur de 25 m pour un poids de 70 t, alors que les tronçons en travée atteignaient 35 m de long pour un poids de 45 t.

L'ensemble des poutres a été transporté par convois

Figure 1  
Système de double té  
Double-tee system





# sur l'A89

exceptionnels routiers. Les éléments les plus hauts ont été livrés à plat, ce qui a nécessité la conception d'un système de relèvement pour le déchargement des poutres sur site.

## ■ MONTAGE

La cinématique générale de montage du premier tablier était (figure 2) :

- ◆ montage à la grue des travées à terre rive droite ;
- ◆ montage à la grue de la travée à terre rive gauche ;
- ◆ montage à la bigue (barge automotrice avec un mât de levage incorporé) des cinq colis en rivière de la pile P6 jusqu'à la pile P1.

Pour le second tablier, cette cinématique a légèrement varié car les tronçons de poutre des travées de rives servaient d'estacade provisoire.

Dès le DCE, une solution de montage par voie fluviale était suggérée. Un lancement bien que rendu difficile par le nombre de travées à hauteur variable aurait été techniquement possible si le phasage des travaux de l'autoroute avait permis de disposer d'une plate-forme de lancement.

La solution de montage à la bigue a donc été retenue. Il restait alors à définir toute la méthodologie et les modalités d'intervention de la bigue.

Compte tenu des contraintes de mobilisation de la bigue (amenée, repli, disponibilité du personnel qualifié pour les manœuvres) et des coûts alors engendrés, il fallait regrouper ses interventions et en limiter la durée.

Afin de respecter le planning général de l'affaire et notamment le délai pour la livraison du premier tablier, un minimum de deux interventions s'imposait, soit une par tablier. Ensuite, il restait à définir un site de reconstitution et de stockage des éléments jusqu'à la prise en charge des colis par la bigue. Il a alors fallu prendre en compte les contraintes suivantes :

- ◆ assemblage de colis d'une longueur égale à la travée à franchir soit :
  - 1 colis de 60 m, poids : 250 t,
  - 3 colis de 95 m, poids : 360 t,
  - 1 colis de 35 m, poids : 100 t ;
- ◆ stockage de ces cinq colis ;
- ◆ limiter le plus possible le déplacement de la bigue entre la zone de prise en charge et la zone de pose des colis ;

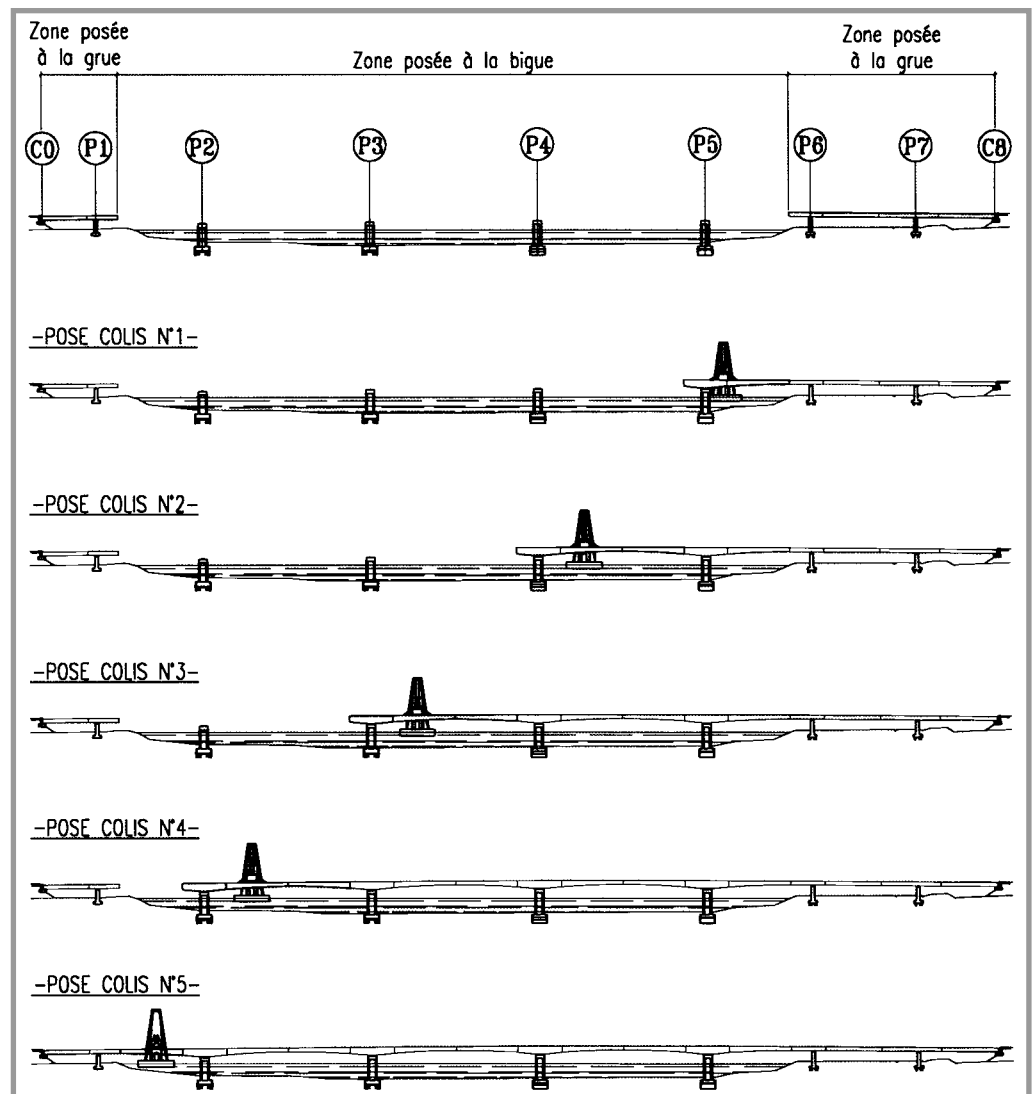
◆ avoir un tirant d'eau suffisant pour la bigue.  
L'option de trouver un quai en aval de l'ouvrage sur lequel les colis auraient été reconstitués a rapide-



**Photo 1**  
Forgeage  
de la semelle  
inférieure  
*Preparing  
the lower footing*

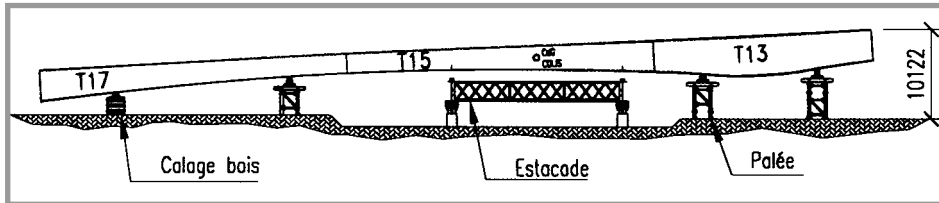
**Figure 2**  
Cinématique  
de montage

*The erection process*





**Photo 2**  
Partie hyperstatique de l'estacade. On remarque les treuils de ripage au pied des rehausses béton  
*The statically indeterminate part of the platform. Note the transfer winches at the base of the concrete side panels*



**Figure 3**  
Présentation des colis au-dessus de l'estacade  
*Presenting sections over the platform*



**Photo 3**  
Vue de la bigue finissant la pose du premier colis et de l'estacade chargée des quatre autres colis du premier tablier plus le premier colis du second tablier  
*View of crane placing the first section and the platform loaded with four other sections of the first deck plus the first section of the second deck*



**Photo 4**  
Prise en charge du premier colis  
*Handling the first section*



ment été abandonnée. En effet, une telle solution aurait nécessité de faire transporter les colis sur la Dordogne jusqu'au site par des pontons ou des barges à partir desquels la bigue aurait pu les prendre en charge. Outre le coût de ce transport, la bigue aurait été immobilisée le temps des allers-retours entre le quai et le site.

La solution la plus économique était donc d'installer près de l'ouvrage, légèrement en aval, une estacade provisoire s'avancant dans la Dordogne pour permettre de ripper les colis au-dessus de l'eau. Le choix de la rive a été imposé par le tirant d'eau ; après un relevé bathymétrique des deux rives de la Dordogne, la longueur d'estacade en rivière pour obtenir le tirant d'eau nécessaire en rive gauche s'est avérée trop importante.

L'estacade a finalement été installée en rive droite, à moins de 100 m à l'aval de l'ouvrage. La zone retenue avait entre autres, l'avantage d'être facilement accessible par les convois exceptionnels. Des poutres de l'ouvrage définitif ont été utilisées pour réaliser l'estacade dont la longueur a été déterminée en fonction des paramètres suivants :

- ◆ tirant d'eau nécessaire à la bigue ;
- ◆ longueur totale minimale pour permettre le stockage de cinq colis et le début de l'assemblage d'un sixième ;

- ◆ position d'une voie de convois exceptionnels à 35 m en retrait de la digue.

L'estacade, d'une longueur totale de 75 m était constituée :

- ◆ d'une partie hyperstatique de 59 m (21/21/17 m) s'avancant sur la Dordogne, et reposant sur des pieux métalliques en rivière et des appuis béton sur berge (massif ou pieux en béton armé) (photo 2).

- ◆ d'une partie isostatique de 16 m de long, amovible pour permettre la circulation sur la plate-forme des grues et convois exceptionnels. Elle reposait sur des massifs en béton armé.

L'estacade a été mise en place par lancement.

La longueur totale d'estacade sur plate-forme, a donné une souplesse d'exécution supplémentaire en permettant d'assembler deux colis simultanément, ce qui s'est avéré utile compte tenu du délai relativement court.

La reconstitution des colis a été effectuée au-dessus de l'estacade, les poutres s'appuyant soit sur des palées, soit sur des calages bois pour les parties les moins hautes (figure 3).

Lorsqu'un colis était terminé, les reprises de peinture au droit des joints soudés étaient effectuées puis le colis était déveriné et posé sur des chariots de lancement inversés.

Un point fixe avait été disposé en extrémité de l'estacade, les colis pouvaient donc être ripés à l'aide de deux treuils.

La préparation et le ripage nécessitaient une journée complète par élément. Les cinq colis de chaque tablier ont ainsi été assemblés, déplacés et stockés en attente de l'intervention de la bigue. Le poids total présent à ce moment sur l'estacade était de 1400 t (photo 3).

Le levage de ces colis a fait l'objet d'une étude très précise (photo 4). Outre le relevé bathymétrique du fond de la Dordogne au droit de l'estacade, il a été pris en compte :

- ◆ la position de la bigue pour chaque opération de prise en charge et de pose du colis. La stabilisation devait se faire dans toutes les directions. Une étude précise de la position des points d'ancrage a été réalisée. En fonction de chaque position, la bigue s'ancrait sur les piles de l'ouvrage ceinturées par des élingues en nylon, sur des brames d'acier de 22 t servant de lest, posés sur le lit de la Dordogne et repérés par des bouées ou sur les pieux de l'estacade provisoire ;

- ◆ la position des oreilles de levage sur les colis. Elle a résulté du compromis entre la longueur des élingues sous le palonnier, la hauteur libre sous le crochet et la flexion en porte-à-faux admissible par le colis ;

- ◆ les interactions entre le travail de la bigue et le trafic fluvial. Une cinématique chronométrée comportant les différentes phases (prise en charge, transfert et pose) et les conditions de navigation pour chacune de ces phases, dont certaines pé-





**Photo 5**  
**Transfert d'un élément de 95 m de long et 360 t**  
*Transferring a 360-t element 95 m long*

**Photo 6**  
**Pose du deuxième colis.**  
**On remarque en jaune l'élingue ceinturant la pile**  
*Placing the second section. Note, in yellow, the sling around the pier*

riodes de coupure, a été établie. Tous les horaires étaient assujettis à l'heure de la marée haute. Le temps prévu pour une opération de pose d'un colis était de 6 heures et demie, aucune manutention n'a duré plus de 6 heures.

La marée a été importante a plusieurs titres. Outre la condition du tirant d'eau pour l'approche de la bigue et la hauteur sous le palonnier pour être capable de surélever le colis, le jusant (marée descendante) devait être établi lors de l'approche finale de la bigue (photo 5) et de la pose du colis (photo 6). Il constituait ainsi une butée et facilitait la précision des mouvements de la bigue et de son colis.

En résumé, manquer l'heure de la marée équivalait à annuler l'opération. Enfin, pour limiter les risques liés aux conditions climatiques, chaque opération a été réalisée sous couverture météo.

## CONCLUSION

Cet ouvrage dont les dimensions (540 m de long, travées principales de 95 m, 3500 t) constituent en elles-mêmes une référence, est surtout remarquable par sa méthode de montage qui combine plusieurs techniques; grutage, ripage et pose par engin flottant.

Ce chantier a nécessité une grande maîtrise de ces difficultés techniques. L'apport d'un service montage intégré à l'entreprise est sans doute une des raisons du succès technique de l'opération.

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Acier pour charpente métallique : 3 500 t
- Goujons connecteurs : 26 t
- Surface totale : 25 500 m<sup>2</sup>

### ABSTRACT

#### The Mascaret bridge on the A89

*B. Cardouat*

The crossing of the Dordogne by the A89 motorway required the construction of a bridge 540 m long. The



construction of the bridge's two decks took 24 months. Besides the variable height of the steel girders, the particular feature of this structure was its erection method, which required the use of a 400-t capacity crane to place five sections, three of which weighed 360 t with a length of 95 m. To allow the placing of these sections, a platform 75 m long and 20 m wide was designed and installed over the Dordogne by launching. The sections were assembled two by two on the bank over the platform and then shifted onto it. The sections were stored while waiting for crane operations in order to carry out a complete week of erection (one section per day).

### RESUMEN ESPAÑOL

#### El puente del Mascaret, en la autopista A89

*B. Cardouat*

La travesía del río Dordogne por la autopista A89 ha precisado la construcción de un puente de 540 m de longitud. El plazo de ejecución de los dos tableros ha sido de 24 meses. Además de la altura variable de las jácenas metálicas, la particularidad más señalada de esta estructura reside en su método de implantación que ha precisado la intervención de una cabría de 400 toneladas de capacidad instalada en una embarcación fluvial, para poder elevar

cinco bultos, de los cuales tres de un peso de 360 toneladas y una longitud de 95 m. Para permitir la instalación de estas cargas, se ha proyectado e instalado por encima del río Dordogne una estacada de lanzamiento de 75 m de longitud por 20m de anchura. Los bultos estaban ensamblados de dos en dos en la margen del río, por encima de la estacada y a continuación, transportados transversalmente hasta su extremo. Los bultos se almacenaban en espera de la intervención de la cabría, con objeto de efectuar una semana completa de tendido (a razón de un bulto por día).

# A89 - Le viaduc des Trois kilomètres de tablier de la Dordogne

Avec ses deux tabliers parallèles, longs de 1,5 km, le viaduc des Bar rails est l'ouvrage le plus important par sa longueur de la future autoroute A89, qui reliera Bordeaux et Clermont-Ferrand. Situé à l'extrémité ouest de l'autoroute dans une boucle de la Dordogne à proximité de Libourne, l'ouvrage permet le passage de l'autoroute au-dessus des voies SNCF de la ligne Bordeaux-Paris et de la RN2089, tout en assurant la décharge hydraulique dans la vallée de la Dordogne et le franchissement d'une zone compressible. Au droit du franchissement par l'autoroute, les voies SNCF empruntent le viaduc des 100 Arches, ouvrage en maçonnerie érigé au siècle dernier. Le trafic des trains sur cette section est intense, car elle accueille les TGV de la ligne Bordeaux-Paris, en plus des liaisons régionales et du fret (photo 1).

Photo 1  
Le viaduc  
des 100 Arches  
The 100 Arches  
viaduct



## ■ DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage comprend deux tabliers parallèles de 1 457 m de longueur. L'axe de l'ouvrage en plan décrit un arc de cercle de rayon 8 000 m. Chaque tablier comporte 34 travées et est divisé en trois tronçons indépendants séparés par des joints de dilatation. Les portées sont de 45,50 m pour les travées courantes et de 38,15 m pour les travées de rive. Toutefois, les franchissements nécessitent des portées différentes :

- ◆ 32,15 m et 38,00 m de part et d'autre des voies SNCF ;
- ◆ 33,60 m, 27,85 m et 49,85 m au droit de la RN2089.

Les tabliers de hauteur constante 2,65 m sont constitués par des caissons en béton précontraint de largeur 12,20 m. Les âmes inclinées du caisson ont une épaisseur constante de 0,35 m.

Les appuis de faible hauteur sont constitués pour la plupart par un fût circulaire de 2,50 m de diamètre surmonté par un chevêtre de forme trapézoïdale. Les chevêtres sont précontraints transversalement. Chaque appui est fondé sur quatre pieux de diamètre 1 100 mm descendus dans la mollasse sous une couche limoneuse de 7 m d'épaisseur moyenne. Les piles situées au droit des joints de dilatation à la jonction des tronçons sont constituées de fûts de diamètre 2,80 m surmontés de chevêtres épaissis de manière à placer les deux lignes d'appareils d'appuis.

## ■ MARCHÉ

La consultation des entreprises a été lancée sur deux solutions de base :

- ◆ une solution en tablier mixte de type bipoutre ;

- ◆ une solution en béton précontraint avec voussoirs préfabriqués posés sur cintre par travées entières.

Le règlement de l'appel d'offres autorisait les variantes pour les modes de construction des piles et des tabliers. Le marché a été attribué au groupement Campenon Bernard SGE - Quillery sur une variante de la solution béton. La solution proposée par le groupement consiste à poser les voussoirs préfabriqués à l'avancement avec un mât de haubanage provisoire. Cette variante de méthode de pose a induit des modifications du projet de base au niveau du schéma de précontrainte et du dimensionnement des fondations.

Le montant du marché est de 168,9 millions de francs HT, les remblais d'accès aux culées font l'objet d'un autre marché.

## ■ DÉLAIS

L'ordre de service de commencement des travaux a été notifié au groupement le 23 mars 1998. Le délai contractuel global est de 29 mois, soit un achèvement prévu le 23 août 2000. Le délai global est assorti d'un délai partiel de 22 mois pour la livraison du premier tablier. Le premier tablier livré permettra de donner le passage aux engins de terrassements effectuant les mouvements de terres de part et d'autre de l'ouvrage.

Les principales étapes du contrat sont les suivantes :

- ◆ préfabrication des voussoirs démarrée en septembre 1998 pour une durée prévisionnelle de 19 mois ;

- ◆ pose des voussoirs commencée en février 1999 pour une durée prévisionnelle de 16 mois.

## ■ RÉALISATION DES APPUIS

### Fondations

Les pieux de diamètre 1 100 mm sont forés sous boue bentonitique au *bucket*. Une chemise provisoire de 6 m est mise en place pour le forage de la partie supérieure du pieu dans la couche de limons.

### Piles (photo 2)

Les fûts de piles sont constitués d'un fût plein de diamètre 2,30 m revêtu de coques préfabriquées de 0,10 m d'épaisseur. Les coques, en forme de



# Barrails

## dans le lit majeur

**Jean-Jacques Bianchi**  
DIRECTEUR DE TRAVAUX  
Campenon Bernard SGE

**Didier Primault**  
INGÉNIEUR PRINCIPAL  
Campenon Bernard SGE

quart de cylindre, sont traitées sur les faces vues pour avoir un aspect de surface en gravillon lavé. Ces coques préfabriquées d'une hauteur de 2,50 m sont assemblées et maintenues au moyen d'un cerclage métallique. Les fûts sont bétonnés par levée de 2,50 m, les coques préfabriquées servant de coffrage.

Les chevêtres sont bétonnés en une seule phase au moyen d'un coffrage spécifique.

### ■ RÉALISATION DES TABLIERS

#### Mode de construction

Dans la solution variante proposée par le groupe-ment, les tabliers sont constitués de voussoirs préfabriqués posés à l'avancement par haubanage provisoire.

Cette technique de réalisation conçue par Campenon Bernard SGE dans les années soixante-dix, a été utilisée pour la construction de sept ouvrages entre 1973 et 1984. Plus récemment, après développement du procédé et optimisation des matériels, cinq ouvrages ont été réalisés en région Rhône-Alpes. Le dernier en date de ces ouvrages est le doublement du viaduc des Neyrolles sur l'autoroute A40. Au total, c'est plus de 60 000 m<sup>2</sup> de tabliers, qui ont été construits par l'entreprise avec cette méthode.

#### Préfabrication des voussoirs

La conception de l'usine de préfabrication des voussoirs répond à un double objectif :

- ◆ le premier de limiter au maximum les opérations de bétonnage sur site. Ainsi ne sont coulés en place que les joints de clavage de 6 cm d'épaisseur à l'axe des voussoirs sur pile (VSP) et les longrines des barrières BN4 et GS2 ;
- ◆ le deuxième est d'adapter la préfabrication aux contraintes de la pose à l'avancement.

#### Principe

Les voussoirs sont coulés dans des cellules selon la méthode de préfabrication dite à joints conjugués. Cette méthode consiste à couler un voussoir contre le précédent, qui sert de "contre-moule", afin d'assurer une parfaite conjugaison des voussoirs lors de leur mise en place. Tous les voussoirs d'une travée sont conjugués entre eux. La préfabrication de chaque travée est réalisée d'un joint de clavage à un autre dans le sens de la pose.



Photo 2  
Réalisation  
des appuis  
*Work  
on the bearings*

© F. Vigouroux - Photothèque  
Campenon Bernard SGE

#### Découpage

Le matériel spécifique, utilisé pour la pose, a été conçu pour des voussoirs de 50 t au maximum. Le tablier, ayant un poids de 16 t au mètre linéaire, a donc été découpé en limitant la longueur des voussoirs courants à 3,11 m. Ainsi, une travée courante de 45,50 m est composée de :

- ◆ deux demi-VSP de longueur 1,62 m ;
- ◆ deux voussoirs déviateurs de longueur 2,70 m ;
- ◆ douze voussoirs courants de longueur 3,07 m, soit 16 voussoirs par travée.

La quantité totale pour les deux tabliers est de 1 038 voussoirs, dont 902 voussoirs courants et déviateurs et 136 voussoirs spéciaux - demi-voussoir sur pile (1/2 VSP) et voussoir sur culée (VSC).

#### Organisation de la production

L'usine de préfabrication doit produire ces 1 038 voussoirs en 19 mois, soit en pointe une production de 3,5 voussoirs par jour. Pour réaliser cet objectif, l'usine est organisée autour de cinq cellules :

- ◆ trois cellules pour les voussoirs courants et déviateurs ;
- ◆ deux cellules pour les voussoirs spéciaux (1/2 VSP, VSC).

Le cycle de réalisation d'un voussoir courant est de un jour par unité. Le voussoir est décoffré le lendemain du bétonnage, puis translaté en position contre-moule pour couler le voussoir suivant. Le voussoir est levé et transporté au stock le jour suivant. La durée d'immobilisation du voussoir dans la cellule est donc de deux jours, ce qui permet d'atteindre une résistance suffisante du béton au moment du levage. La durée de réalisation des voussoirs spéciaux (1/2 VSP ou VSC) est de quatre jours par unité, soit un rendement en pointe de 0,25 voussoir par jour et par cellule.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maître d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France (ASF)

#### **Maître d'œuvre**

Scetauroute

#### **Etudes de conception et contrôle**

Jean Muller International (JMI)

#### **Architecte**

Berdj Mikaelian

#### **Entreprises**

Campenon Bernard SGE (mandataire)

- Quillery

#### **Etudes d'exécution**

Europe Etudes Gecti (EEG)

#### **Sous-traitants**

- Botte : fondations
- Freyssinet : précontrainte

**Photo 3**  
Usine de préfabrication -  
Stockage  
des voussoirs  
*Precasting plant -  
Segment storage*



**Photo 4**  
Mât  
de haubanage  
*Stay post*



La production des voussoirs courants étant critique, l'usine est organisée pour assurer le rendement de un voussoir par jour et par cellule sur un poste de 8 heures. Les principales mesures mises en œuvre pour atteindre le cycle sont les suivantes :

- ◆ mécaniser le fonctionnement des cellules. Les coffrages et les parties mobiles sont déplacés à l'aide de vérins hydrauliques ou de systèmes mécaniques. En particulier le chariot support du voussoir en contre-moule est réglable dans les trois directions au moyen de vérins hydrauliques ; ces vérins sont commandés à distance par le géomètre

qui contrôle ainsi directement les mouvements du voussoir et peut appliquer rapidement les corrections nécessitées par ses relevés ;

- ◆ réduire la durée des réglages. Le contrôle de la géométrie du tablier est fait à la préfabrication à l'aide du programme PX3B mis au point par Campenon Bernard SGE. Ce programme donne au géomètre les données de réglage des couples de voussoirs (moule/contre-moule) et les corrections successives à apporter en cours de réglage en fonction de la géométrie réelle des voussoirs réalisés ;
- ◆ limiter les interventions des ferrailleurs dans la cellule. Les cages d'armature sont préfabriquées et mises en place au moyen de la grue. Les gaines de précontrainte sont incorporées à la cage d'armatures ;

- ◆ réduire les temps de bétonnage. Le béton des voussoirs est réalisé au moyen d'une centrale de malaxage installée sur le site. La centrale à béton, d'une capacité de 40 m<sup>3</sup>/h, est implantée au plus près des cellules. Le béton est acheminé au moyen d'une conduite alimentée par une pompe, puis distribué avec un bras de bétonnage. La pompe à béton est installée sous le malaxeur de la centrale ;
- ◆ réaliser les voussoirs déviateurs dans le même cycle que les voussoirs courants. Pour cela, les entretoises intérieures des voussoirs déviateurs sont réalisées en deuxième phase sur une aire aménagée au stockage.

Les voussoirs courants sont réalisés sur un poste de 8 heures et les résistances nécessaires au décoffrage sont obtenues à 16 heures sans problèmes.

### **Stockage** (photo 3)

La production mensuelle de l'usine, environ 75 voussoirs, nécessite une grande capacité de stockage. Les travées étant préfabriquées en parallèle dans les différentes cellules, le stockage doit avoir une capacité minimum de 150 places pour alimenter la pose en continu. De plus, il faut intégrer une capacité tampon pour amortir les changements de rythme et les aléas inévitables de la pose.

L'aire de stockage comprend une aire de préstockage, sur laquelle sont réalisées les parties bétonnées en deuxième phase, le stockage d'une capacité de 220 voussoirs courants et spéciaux, et une aire de chargement des voussoirs. Le stockage des voussoirs est organisé sur deux niveaux pour les voussoirs courants et un niveau pour les voussoirs spéciaux. Les voussoirs sont stockés sur un ensemble de plots bétonnés. Afin d'éviter les contraintes et les déformations, les voussoirs sont calés en trois points sur les plots par des cales en bois dur axées sur les âmes.

Les voussoirs sont levés et déplacés à l'aide d'un portique sur rails d'une capacité de 50 t. Le portique a une portée de 27 m et une hauteur sous crochet de 10 m. Ce portique couvre les cinq cellules et l'aire de stockage des voussoirs ; il sert ex-



clusivement au levage et au chargement des voussoirs, à la fois pour la gestion du stock en cours de préfabrication que pour le chargement du fardier de transport vers le site.

### **Implantation**

Dans la méthode de pose à l'avancement, les voussoirs sont approvisionnés par le tablier. L'usine devait impérativement être implantée le plus près possible d'une des culées afin de réduire les temps de transport des voussoirs et éviter que l'approvisionnement des voussoirs ne devienne critique.

L'usine a été installée sur un terrain de 1,5 ha situé au lieu-dit "La commanderie du viaduc" en bordure de la RN2089. Il est situé à 700 m de la culée C0. La piste d'accès, empruntée par les transports de voussoir, passe sous une des arches du viaduc SNCF. Le gabarit réduit dégagé sous ces arches est juste suffisant pour le passage d'un fardier chargé d'un voussoir.

Un préstockage tampon a été néanmoins installé en arrière de la culée C0 afin de s'affranchir des aléas liés aux situations de saturation du stock de l'usine de préfabrication.

### **Pose des voussoirs**

#### **Principe de pose**

Le tablier est construit à l'avancement par haubanage provisoire. Cette méthode consiste à construire le tablier de façon continue, d'un bout à l'autre de l'ouvrage, en partant d'une culée et en réalisant toutes les travées par poses régulières des voussoirs, les uns après les autres. De plus, chaque travée en cours de construction est supportée au moyen de haubans provisoires et d'un mât de haubanage. Le principe de haubanage est le suivant. Le mât de haubanage est en station verticale à l'axe de la pile de la travée à construire. Chaque voussoir courant, hormis les deux premiers, est supporté par une paire de haubans ancrés dans le hourdis supérieur avec une chaise spéciale. A l'autre extrémité les haubans sont fixés au mât.

Pour équilibrer les efforts horizontaux générés par les haubans avant, des haubans arrière en nombre identique sont fixés au mât et ancrés sur les voussoirs de part et d'autre de la pile précédente.

#### **Matériel de pose**

La méthode de pose nécessite l'emploi de matériels spécifiques. Ces matériels sont les suivants :

- ◆ un mât de haubanage (photo 4) constitué d'une ossature métallique composée de deux montants verticaux entretoisés par un contreventement central. L'ensemble est conçu pour dégager entre les deux montants le gabarit nécessaire au passage des voussoirs.

Chaque montant est équipé de chapes d'ancrage régulièrement espacées, qui permettent par l'intermédiaire de vérins de traction (capacité 100 t)



**Photo 5**  
**Potence de pose**  
**Segment**  
**placement crane**

fixés au mât d'ancrer et de tendre les haubans. Dans sa configuration la plus haute – 23 m de hauteur – le mât peut être équipé de 4 x 19 vérins et peut donc supporter 19 haubans (19 paires avant et 19 paires arrière). Pour ce projet, le mât est en configuration basse – 18 m – ce qui lui permet de supporter 14 haubans.

Les haubans, au nombre de deux par voussoir, sont constitués d'unités 7T15. Les torons galvanisés sont ancrés au moyen d'ancrages à pot monotrons multiemploi. L'ancrage des haubans est assuré en partie haute par brochage sur les vérins du mât, et en partie basse par des chaises métalliques fixées sur le tablier ;

- ◆ un appareil de pose (photo 5). C'est une potence orientable de 10 m de hauteur et d'une capacité de levage de 50 t. Le bras supérieur tourne autour d'un fût vertical et comporte un chariot mobile équipé d'un palonnier de levage.

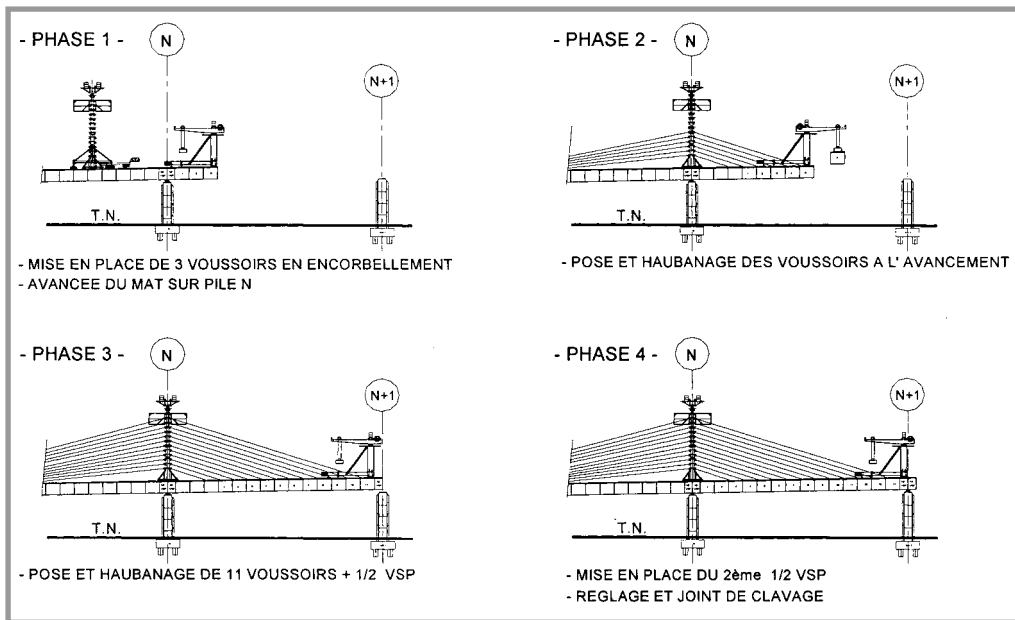
Le socle de la potence est conçu de manière à permettre une avancée maximale du fardier d'approvisionnement des voussoirs. Le pied arrière est ancré par des barres de précontrainte sur le tablier ;

- ◆ un fardier de transport, d'une capacité de 50 t conçu spécialement pour s'adapter aux matériels précédents. Il sert à l'approvisionnement de la potence en voussoirs et au déplacement du mât avec une remorque spéciale.

Les matériels utilisés pour la réalisation de cet ouvrage et décrits ci-avant (mât, potence et fardier) ont été conçus par Campenon Bernard SGE et utilisés la première fois pour la réalisation du viaduc de Frébuge sur l'autoroute A40.

#### **Transport des voussoirs**

Les voussoirs sont acheminés de l'aire de stockage au lieu de pose sur le fardier automoteur. Pendant toute la construction, le fardier achemine les voussoirs en roulant sur le tablier existant jusqu'à l'arrière de la potence. Une rampe dans le remblai sud permet au fardier d'accéder au tablier par la culée C0.



**Figure 1**  
**Cinématique**  
**de réalisation**  
**d'une travée courante**

**Work**  
**on an inner section**

**LES PRINCIPALES**  
**QUANTITÉS**

- Pieux Ø 1100 mm : 3 400 ml
- Béton appuis : 7 300 m<sup>3</sup>
- Armatures appuis : 850 t
- Longueur de l'ouvrage : 1 457 m
- Largeur totale : 2 x 12,22 m
- Surface du tablier : 35 600 m<sup>2</sup>
- Béton tablier : 20 100 m<sup>3</sup>
- Précontrainte extérieure : 504 t
- Précontrainte intérieure : 234 t
- Armatures tablier : 3 500 t
- Nombre de voussoirs : 1 038 dont 902 courants et 136 spéciaux

**Cinématique de réalisation d'une travée courante** (figure 1)

Le cycle de pose d'une travée courante commence par la pose de trois voussoirs en encorbellement "mini-fléau". Les trois voussoirs sont approvisionnés, pris en charge par la potence, encollés, mis en place et brêlés au voussoir précédent. Des câbles de fléau 7C15 sont tendus sur les voussoirs 1 et 2.

La potence est avancée sur le voussoir 3. L'encorbellement ainsi réalisé dégage une place suffisante pour la mise en station du mât sur la pile. Après détension des haubans sur la travée précédente, le mât est transféré et mis en station à l'axe de la pile. Les quatre premiers haubans, une paire à l'avant sur le voussoir 3 et une paire à l'arrière, sont mis en place et tendus. La séquence de pose courante peut alors commencer. Elle se décompose comme suit :

- ◆ le voussoir courant est amené sur le fardier de transport à l'extrémité de la partie construite ;
- ◆ le voussoir est pris en charge par la potence, encollé, mis à sa place définitive et brêlé au voussoir précédent avec six barres de précontrainte provisoire Ø 36 mm ;
- ◆ le fardier quitte la travée en construction pour approvisionner le voussoir suivant ;
- ◆ la potence est avancée sur le voussoir posé ;
- ◆ les haubans ancrés dans le voussoir posé sont tendus simultanément avec les haubans arrière correspondants.

Onze voussoirs sont mis en place successivement de cette manière. Au total, 12 voussoirs sont haubanés sur une travée courante constituée de 16 voussoirs (14 courants et deux demi-VSP).

Après pose et haubanage des voussoirs courants, le premier demi-VSP est mis en place et brêlé au voussoir précédent. La position verticale du tablier

à l'extrémité libre de la travée est alors ajustée au moyen de deux vérins, qui sont placés sur le chevêtre de la pile et agissent sous les âmes du demi-VSP.

La potence est avancée sur le demi-VSP. Le deuxième demi-VSP est approvisionné, mis en place avec la potence et positionné sur le chevêtre de la pile par l'intermédiaire de quatre vérins sur appuis glissants. Le demi-VSP est réglé en XYZ. Cette opération est menée avec le plus grand soin et une extrême précision. En effet le réglage du demi-VSP conditionne la géométrie de la travée suivante.

Après réglage, les deux demi-VSP sont solidarifiés par calage et brêlage horizontal. Le joint de clavage est coffré, puis bétonné avec un micro-béton. Les bossages supérieurs sur les appuis définitifs sont réalisés avec un mortier liquide. Les câbles de précontrainte intérieure et extérieure sont enfilés. Lorsque le béton du joint de clavage a atteint la résistance nécessaire, les câbles de précontrainte sont mis en tension.

La potence est avancée sur le deuxième demi-VSP et le cycle de réalisation de la travée suivante commence.

Le cycle complet d'une travée courante est réalisé hors période de démarrage en sept à huit postes de travail. Les douze voussoirs haubanés sont alors posés en moins de deux postes, soit environ 12 à 14 heures.

**Travées de rive C0 - P1**

La construction de chacun des tabliers a commencé par les travées de rive C0 - P1. Comme il n'est pas possible de les équilibrer par l'arrière, ces travées n'ont pas été réalisées avec la méthode de pose par haubanage provisoire. Les voussoirs de ces travées ont donc été assemblés sur cintre.

Chaque cintre était constitué de deux profilés métalliques longitudinaux servant au ripage et à l'assemblage des voussoirs, placés sur deux files de tours d'étalement.

Pour le premier tablier, les voussoirs ont été approvisionnés par la potence, mise en station sur le mur arrière de la culée C0. Les voussoirs de la travée de rive du deuxième tablier ont été posés à la grue mobile.

**Joint de dilatation**

Les joints de dilatation sont positionnés à l'axe des piles P8 et P23. Les deux demi-VSP ne sont donc pas liaisonnés en phase définitive par un joint de clavage. La construction d'une travée au droit d'un joint de dilatation est similaire à celle d'une travée courante. Le tablier est rendu continu au droit du joint par un calage entre les deux demi-VSP et des câbles de précontrainte traversant le joint. Les cales et les câbles, qui assurent provisoirement la continuité du tablier, sont laissés en place pendant la construction des deux travées suivantes, puis enlevés pour libérer le joint de dilatation.



### **Franchissements des voies SNCF et de la RN 2089**

Avec la solution de base, la construction des travées au-dessus des voies SNCF et de la RN 2089 aurait été un point critique. La cinématique de réalisation de ces travées était complexe et longue. En effet, les voussoirs de ces travées étaient assemblés à environ 2 m au-dessus de leur position définitive pour ne pas engager le gabarit avec les poutres du cintre. Les travées étaient ensuite vérinées à leur position finale.

Avec la pose par haubanage provisoire, ces travées ont été construites comme les travées courantes. La méthode utilisée a permis de poser les voussoirs à leur position définitive sans engager le gabarit des voies SNCF ou de la RN 2089. Les équipements de pose évoluant sur le hourdis supérieur du tablier, aucune intervention n'est nécessaire en dessous du hourdis inférieur. L'incidence sur le planning de la construction au-dessus des voies SNCF et de la RN 2089 a été relativement faible avec cette méthode de pose.

Les travées, qui enjambent le viaduc des 100 Arches (voies SNCF), ont une longueur de 45,50 m. Treize voussoirs par travée survolent les voies SNCF. Ces treize voussoirs courants ont été posés sous coupure des caténaires sur une voie ou sur les deux voies simultanément.

Avant chaque coupure, le voussoir est approvisionné en bout de tablier, fixé au palonnier de la potence et encollé. Pendant la coupure, le voussoir est levé, mis en place et brêlé, la potence est avancée sur le voussoir. Les haubans provisoires sont mis en place après la coupure.

La circulation des trains sur la ligne Bordeaux-Paris étant très intense, les coupures sont peu nombreuses et de courte durée. Les créneaux horaires disponibles étaient réduits à une durée effective de 20 minutes en semaine et pouvaient s'allonger la nuit et le week-end. La plupart des coupures ne permettent la pose que d'un seul voussoir. Pour le premier tablier, la pose des 13 voussoirs au-dessus des voies a été réalisée en profitant du week-end prolongé de Pâques au mois d'avril 1999 (photo 6). Pour le deuxième tablier, les 13 voussoirs au-dessus des voies ont été posés pendant le week-end de la Toussaint début novembre 1999.

Les deux travées, qui enjambent la RN 2089, ont une longueur de 49,85 m (photo 7). Elles sont constituées de 16 voussoirs courants, soit deux de plus que les travées de 45,50 m. Elles nécessitent l'utilisation de 14 paires de haubans, soit toutes les positions d'ancrages du mât de haubanage.

Les voussoirs courants de ces travées sont posés pendant des périodes de coupure de nuit de la RN 2089. Pour le premier tablier, des coupures de 22 heures à 6 heures pendant quatre nuits consécutives au mois d'août 1999 ont été nécessaires pour poser les 16 voussoirs courants de la travée.



**Photo 6**  
**Franchissement**  
**du viaduc**  
**des 100 Arches**  
**100 Arches viaduct**  
**crossing**



**Photo 7**  
**Franchissement**  
**de la RN 2089**  
**RN 2089 highway**  
**crossing**

© Photothèque  
Campeyron Bernard SGE

## **CONCLUSION**

La méthode de construction utilisée pour le viaduc des Barrails est éprouvée et bien maîtrisée. L'ouvrage, du fait de ses portées moyennes et de sa grande répétitivité, se prête parfaitement à la technique de pose à l'avancement. L'exécution de cet ouvrage n'a connu aucun problème technique particulier. Les problèmes rencontrés lors de la construction ont été essentiellement des problèmes de gestion du stockage des voussoirs. La cadence de pose doit suivre le rythme élevé de la production, 75 voussoirs par mois. La capacité du stock, pourtant importante, n'autorise que peu d'écart. Le chantier a connu une phase critique lors de la construction des premières travées, lorsque



les équipes de pose étaient encore en période de rodage et que l'usine de préfabrication produisait déjà à sa capacité maximale. L'aire de stockage a été momentanément saturée et il a fallu déstocker quelques voussoirs pour ne pas arrêter l'usine.

L'entreprise avait déjà apprécié les performances de cette méthode de construction sur d'autres ouvrages (A40 : viaduc de Frébuge et viaduc des Neyrolles). Néanmoins ces ouvrages étant de moindre taille, les qualités de ce mode constructif ne semblaient pas pleinement exploitées. La grande longueur du viaduc des Barrails et sa répétitivité ont permis l'optimisation des cycles de pose et de préfabrication, que l'on pouvait attendre.

### ABSTRACT

**The A89 – The Barrails viaduct. Three kilometres of deck in the flood basin of the Dordogne**

*J.-J. Bianchi, D. Primault*

The Barrails viaduct is the longest structure on the future A89 motorway which will link Bordeaux and Clermont-Ferrand. The structure, located near Libourne, crosses the very busy TGV high-speed train line between Bordeaux and Paris and highway RN 2089. The viaduct, which was built in a period of 29 months, is made up of two parallel decks 1,457 m long. Each deck has 34 sections of 45.50 m span. It is designed as a prestressed concrete box structure 2.65 m high and 12.20 m wide. The decks are precast in a plant installed on the site. The 1,038 arch segments are placed while advancing, using temporary stay cables. This method, developed by Campenon Bernard SGE, consists in building the decks continuously, from one end of the structure to the other, beginning at an abutment and completing all the sections by regular placing of segments one after the other. Each section is supported during construction by temporary stay cables and a stay post.

### RESUMEN ESPAÑOL

**Autopista A89. El viaducto de Les Barrails. Tres kilómetros de tablero en el cauce central del río Dordogne**

*J.-J. Bianchi y D. Primault*

El viaducto de Les Barrails constituye la estructura de mayor longitud de la futura autopista A89, que pondrá en comunicación las ciudades de Burdeos y Clermont Ferrand. Este viaducto, ubicado en las cercanías de la ciudad de Libourne, salva las vías ferroviarias de tráfico elevado de la línea del tren de alta velocidad (TGV) Burdeos-París y la carretera nacional RN 2089. Este viaducto, a construir en un plazo de 29 meses, está formado por dos tableros paralelos de 1457 m de longitud. Cada tablero consta de 34 tramos de 45,50 m de luz. La estructura está compuesta por un cajón de hormigón pretensado de 2,65 m de altura por 12,20 de anchura. La prefabricación de los tableros se efectúa en una planta instalada in situ. Las 1038 dovelas necesarias se instalan por avance por medio de contravientos provisionales. Este método, desarrollado por Campenon Bernard SGE, consiste en construir los tableros en continuo, desde un extremo al otro del viaducto, tomando como punto de partida un estudio y ejecutando todos los tramos por un montaje regular de las dovelas, sucesivamente. Cada tramo en curso de construcción está soportado por medio de contravientos provisionales y un mástil de arriostamiento.



# L'A89 entre Brive et Clermont-Ferrand : une forte identité bois

Dès 1995, Autoroutes du Sud de la France a répondu aux demandes des élus et des professionnels qui souhaitent que l'autoroute A89 évoque le bois, importante filière économique de l'Auvergne et du Limousin.

En collaboration notamment avec le Centre national pour le développement du bois et avec le Service d'études techniques des routes et autoroutes (Setra), ASF a fait réaliser des études de faisabilité, étudié les réalisations européennes et lancé des concours d'architectes qui ont permis de faire aboutir des projets très variés.

Simplicité, innovation, intégration et élégance, le bois donnera une forte identité à l'A89 dans sa partie limousine et auvergnate.

## ■ ALLIER ESTHÉTIQUE ET FONCTIONNALITÉ (photos 1 et 2)

La gare de péage se trouve sur la bretelle d'accès à l'autoroute. Elle se caractérise surtout par un auvent dessiné comme une structure pliée, ancré de part et d'autre des voies par des joues qui descendent jusqu'au sol. La sous-face de l'auvent laisse apparaître la structure de charpente en bois. La gare de péage comprend également un local principal de quai et un bâtiment sur abords avec bardages bois et des cabines de péage selon le modèle ASF. Une voie d'accès irrigue le site donnant vers le centre d'entretien proprement dit d'un côté, vers la gendarmerie de l'autre. Le centre d'entretien est caractérisé par des bardages en bois avec des larges débords de toiture en zinc. Il est composé d'un bâtiment administratif bas autour d'un patio et d'un bâtiment ateliers-garages plus haut et linéaire, formant un front parallèle à la bretelle. Une cour comprenant les bâtiments techniques, tous conçus selon le même principe de bardages bois et de couvertures zinc, se trouve à l'arrière du bâtiment invisible depuis la bretelle. Enfin, la gendarmerie présente les mêmes matériaux et détails architecturaux en reflétant dans ses grandes lignes le parti de plan masse du centre d'entretien. Elle se différencie par quelques éléments de dessin architectural, comme par exemple le corps de bâtiment à deux étages par lequel on accède au bâtiment. L'architecture du projet cherche avant tout une intégration au site et une unité de traitement des différents bâtiments afin de donner une composition et une unité d'ensemble au site.

La gare de péage, le centre d'entretien et la gendarmerie d'Ussel Est représentent une surface totale au sol de 3 523 m<sup>2</sup> + 725 m<sup>2</sup> de développé



Photo 1  
L'auvent de la gare d'Ussel est en chantier (août 1999)

*The canopy of the Ussel Est toll plaza during works (August 1999)*



Photo 2  
Vue d'ensemble de la gare d'Ussel est  
General view of Ussel Est toll plaza



pour la couverture de l'auvent de la barrière de péage. Tous ces bâtiments font appel à l'ensemble des systèmes constructifs bois :

- ◆ auvent de la gare de péage, structure bois lamellé-collé ;
- ◆ gendarmerie : murs à ossature bois avec revêtement extérieur en lames de bardage de Douglas traité en autoclave classe 3. Toiture en charpente industrialisée. En coursive extérieure, poteaux ronds en lamellé-collé de pin Sylvestre traité en autoclave classe 4 ;
- ◆ centre d'entretien : portiques en bois lamellé-collé.

développement du bois (CNDB) et au bureau d'études Sylva conseil. On a alors joué l'esprit bois à fond, en ayant une vraie structure bois partout où les normes ne l'interdisaient pas sans tomber dans l'habillage cosmétique (photo 3).

"L'exigence première était d'utiliser le bois, à la fois dans l'esprit, la construction et l'habillage. Ce que nous nous sommes efforcés de faire. En fait, ce chantier est une sorte de lego géant que l'on monte assez rapidement à condition que le gros œuvre suive. Le centre d'entretien a une structure imposante, tournée vers l'aire de manœuvre et non vers la gare située à proximité. On a cherché à souligner la ligne paysagère avec l'horizontalité des bâtiments d'exploitation vus depuis la gare. En quelque sorte pour préserver la vie cachée de l'A89."

## ■ LA FILIÈRE BOIS

La volonté d'ASF en liaison avec le Comité national de développement du bois (CNDB) a fait de l'A89, l'autoroute du bois. C'est un atout énorme pour ce matériau aux qualités trop souvent ignorées. La matière est isolante, recyclable, peu énergivore, résistante, chaleureuse et esthétique. Portraits de trois acteurs locaux de la filière bois...

Constructeur bois depuis cinquante ans, l'entreprise Goubie de Prignonrieux (Dordogne) a été désignée après appel d'offres pour réaliser ce qui sera une vitrine du bois à Ussel est : la gendarmerie, le centre d'entretien et la gare de péage.

**Jean-Paul Goubie :**

– "Pour mener à bien cette mission, j'ai une fois de plus appliqué la maxime suivante "si tu veux réussir un chantier bois, il te faut de bonnes bottes et un bon chapeau". Entendez par là, que l'ossature bois ne doit pas toucher le sol. Au contraire, elle doit démarrer à une hauteur sagement calculée. Pourquoi ? Parce que le bois ne bouge pas lorsqu'il est entièrement dans l'eau ou entièrement à l'air libre. S'il existe des variations, il risque de bouger et de mal vieillir. Or, dans la région usselloise, pluie et neige sont des paramètres importants. Idem pour le chapeau. Des avant-toits suffisamment larges seront de bons protecteurs notamment pour le revêtement extérieur. Toutes ces données ont guidé notre travail. Je suis fier du résultat, d'autant que le bois va se bonifier en vieillissant. C'est un chantier conduit avec le souci du détail où l'on peut dire que rien n'a été laissé au hasard. Le cahier des charges d'ASF nous imposait des bois traités classe 2 pour l'intérieur et des bois classe 3 et 4 pour les extérieurs, par définition exposés. Le revêtement extérieur, ou bardage est réalisé avec du pin de la région, du Douglas, fourni par la scierie Farges - TBN 19, d'Egletons. Le bois d'ossature et de charpente, c'est du sapin, de l'épicéa de la région. Enfin, en ce qui concerne le lamellé-collé, c'est souvent du bois d'importation. Il vient

**Photo 3**  
Gros plan sur l'auvent de la gare d'Ussel. De nuit, toute la chaleur se révèle

*Close-up of the Ussel toll plaza canopy. At night, the warmth can be seen*



## ■ UN TREMPLIN POUR LES JEUNES ARCHITECTES

Le tracé de l'A89, au travers d'un massif forestier très dense, et l'importance primordiale de l'économie forestière et des industries du bois en Corèze ont conduit ASF à inscrire le bois dans ses programmes d'aménagements : ainsi, le bois a été retenu dans la construction du centre d'entretien et de la gendarmerie d'Ussel est et des gares de péages d'Ussel est, d'Ussel ouest et du Sancy.

Témoignage du lauréat du concours d'architecture, **Arnaud Dieudonné, 31 ans :**

– "J'ai fait l'école d'architecture de Paris-Villemin d'où je suis sorti diplômé DPLG en juillet 1995. J'ai alors travaillé en agence à Paris et New York. J'ai été invité à participer au second tour pour le centre d'entretien d'Ussel est. Avec le recul, je crois que notre travail sur le respect du site et la sobriété du projet a fait pencher la balance en notre faveur. Nous n'avons cherché à forcer ni l'image ni le style. On a beaucoup travaillé sur ce projet. De fait, il nous a fallu combler nos nombreuses lacunes en construction bois. En école, la formation est plutôt "béton" au sens propre du terme et il a donc fallu apprendre sur le tas.

"C'est une règle générale du métier d'architecte. J'ai demandé des conseils au Comité national de



du nord, Suède et Finlande. Cela s'explique par des raisons d'habitude et des caractéristiques mécaniques. Dans les pays nordiques, le bois est une culture. Il faut qu'elle naisse aussi chez nous. La volonté est réelle et j'estime que c'est en bonne voie. Ainsi, j'attends bien sûr des retombées de ce chantier. A la sortie Ussel est, il est très visible. Et, comme je dis souvent, le bois appelle le bois..." (photo 4).

Daniel Gouny, charpentier, patron de l'entreprise du même nom, et Pierre Gathier, architecte, sont tous deux à Ussel. Ensemble, ils ont remporté le concours lancé pour la conception et la réalisation des maisons d'astreinte du centre d'entretien d'Ussel est (Aix). Dix pavillons bois originaux et fonctionnels, destinés aux familles des ouvriers viabilité (sécurité et entretien de l'autoroute) à 300 m du centre d'entretien et de la gare de péage. Leur travail a été guidé par le souci d'une bonne adaptation du bois à tous les besoins.

**Pierre Gathier :**

– "Le bois n'a que des qualités. Il est isolant, son aspect est naturellement chaleureux aussi bien à l'œil qu'au toucher. Ma réflexion a été sans cesse guidée par l'équilibre entre esthétique et qualités techniques du bois. Adossé à une très belle hêtre, le hameau de dix pavillons accompagne le centre d'entretien autoroutier. Je n'ai pas recherché de formes insolites mais le souci d'une bonne réponse à tous les besoins. A l'extérieur, on ne voit que du bois par l'intermédiaire d'une ossature en pin sylvestre dont l'aspect mat permet un vieillissement naturel tout en s'intégrant sans faute dans le paysage. Une lasure vive rouge et verte fera ressortir menuiseries extérieures et volets. Le toit rappelle l'ardoise corrézienne.

"A l'intérieur, doublé de laine de verre et de plaque de plâtre, le bois n'est pas apparent, sauf dans la cheminée du séjour! Chaque pavillon, de type 5, destiné à une famille avec enfants, est distribué en deux volumes (photo 5).

"Un volume "jour" comprenant : hall, séjour, cuisine, sanitaire, chaufferie-buanderie, garage et terrasses extérieures ; un volume nuit de quatre chambres avec penderies, bain, salle d'eau et sanitaire. Le cahier des charges nous a imposé de choisir en construction un bois de traitement classe 4. La classe 4 signifie que le bois subit un traitement spécial qui le rend imputrescible comme peuvent l'être par exemple les poteaux de téléphone. Un bois qu'on peut traiter en classe 4, il en existe dans la région : c'est le pin sylvestre. Le bois est un matériau qu'il faut connaître et qui se travaille avec précision. Par ailleurs, on oublie trop souvent qu'il est renouvelable et recyclable. Sa structure fibreuse lui confère une bonne résistance mécanique et en fait un matériau isolant. C'est un régulateur thermique adaptable de façon permanente au milieu ambiant. En fait, c'est une bonne matière pour l'habitat. Environ 25 m<sup>3</sup> de bois ont été nécessaires



**Photo 4**  
La gendarmerie d'Ussel accueillant une vingtaine de gendarmes  
**The Ussel gendarmerie accommodating some 20 gendarmes (state police)**



**Photo 5**  
La structure porteuse en madriers massifs empilés  
**The bearing structure in stacked solid planks**

par pavillon. Ainsi près de 300 m<sup>3</sup> de bois brut auront servi pour cette réalisation.

"Pour faciliter la vie des hommes de l'autoroute dans cette région parfois rude où l'hiver peut paraître long, chacun dispose d'une surface de 118 m<sup>2</sup> habitable et d'une parcelle de 900 m<sup>2</sup>."

**Daniel Gouny :**

– "Lorsque ASF a lancé en juillet 1999 le concours du chantier de construction à Ussel de dix pavillons-bois destinés aux futurs salariés du centre d'entretien, nous avons fait acte de candidature et avons été retenus pour concourir.

"Les contraintes étaient lourdes mais compréhensibles vu l'ampleur des travaux et les entreprises locales, le chantier a duré 7 mois et a mobilisé un effectif moyen de 25 personnes. C'est un défi pour la construction bois. En effet, à la base, on a répondu sur un projet de construction simple. Puis,

en collaboration avec Scetauroute et ASF, nous avons intégré ce projet de pavillons dans une zone à construire en prenant en compte des données telles que le ramassage scolaire, les ordures ménagères, la proximité du lieu de travail des futurs résidents. Toute une démarche globale et peu habituelle (photo 6).



**Photo 6**  
Les dix pavillons destinés aux familles  
du service viabilité

*The ten lodgings intended for the families  
of the maintenance crew*

"Le procédé de construction par pavillon est le suivant. Sur un plancher isolé en béton, mise en œuvre d'une structure porteuse en madriers massifs empilés, pose d'une charpente de type industrialisée avec couverture en ardoises de fibres naturelles, mise en place de menuiseries extérieures en bois exotique et de fermetures par volets bois; de cloisons intérieures sèches, de sols carrelage, de revêtements, de l'installation électrique et du chauffage, qui est au gaz, et d'une cheminée fermée dans le séjour.

"Ce bouquet de pavillons situé à la sortie Ussel est sur la commune d'Aix est une vitrine du savoir-faire local. J'en attends une reconnaissance de la filière bois. Car même si nous sommes situés ici en Haute-Corrèze dans un milieu forestier à 70 %, il n'y a pas encore à proprement parler de culture industrielle du bois."

### ABSTRACT

#### **The A89 between Brive and Clermont-Ferrand : enhanced wooden design**

G. de Paysac

The route of the A89 motorway through a very dense forest, and the primary importance of the forest and timber industry economy in the Corrèze region led motorway operator ASF to incorporate wood in the design elements : thus, wood was chosen for the construction of the maintenance centre and the Ussel Est gendarmerie and the toll plazas of Ussel Est, Ussel Ouest and Sancy. Four major players in this project speak out in the article.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### **La autopista A89, entre Brive y Clermont-Ferrand : un amplio empleo de la madera**

G. de Paysac

El trazado de la autopista A89, a través de un macizo forestal sumamente denso, así como la importancia de la economía forestal y de las industrias madereras en Corrèze, han conducido a la empresa ASF a introducir la madera en sus programas de acondicionamiento. Por todo ello, se ha adoptado la madera para la construcción del centro de mantenimiento y de la gendarmería de Ussel Este y de las estaciones de peaje de Ussel Este, de Ussel Oeste y del Sancy. Testimonios de cuatro participantes en estas actividades.



# La Sarsonne

## En dévers sur trois piles



**Photo 1**  
"Cloué" sur la pile par une précontrainte verticale, le tablier supporte un porte-à-faux impressionnant  
*"Nailed" on the pier by vertical prestressing, the deck supports an impressive overhang*



**Photo 2**  
Le tablier a été construit par encorbellements à partir d'équipages mobiles  
*The deck was built by cantilevering on travelling formwork*



**Photos 3 et 4**  
Une intégration paysagère exemplaire  
*Exceptional landscape integration*

Le viaduc de la Sarsonne est situé entre Us-ssel et Saint-Exupéry-les-Roches, en Corrèze. C'est un pont de 218 mètres de long réalisé par encorbellements successifs de hauteur constante, à l'aide d'équipages mobiles. Son tablier repose sur trois piles creuses de 15 à 18 mètres de haut et comprend quatre travées de 42, 52, 60, et 64 mètres. Son profil en long est de 3,65 %, avec une pente transversale de 4 %. Le viaduc est en dévers, car le tracé est en courbe pour éviter le village d'Enraygues.

Le viaduc de la Sarsonne présente la particularité d'avoir une largeur de chaussée importante (23,40 mètres), permettant la circulation de deux voies descendantes et de trois voies montantes. Le viaduc comprend 68 voussoirs courants de 2,55 mètres de longueur et de 23,24 mètres de largeur et trois voussoirs sur piles. Il est précontraint longitudinalement, avec une précontrainte interne et externe au béton, mais aussi transversalement à l'aide d'un câble par nervure, c'est-à-dire tous les 2,55 mètres (photo 1).

### ■ SARSONNE : DONNÉES TECHNIQUES

Le viaduc de la Sarsonne a été construit selon le même principe que celui de la Clidane. La technique par encorbellements a permis de ne pas uti-

liser un échafaudage reposant sur le sol, préservant ainsi le ruisseau et ses bordures arborées (ripisylve). Le recours à cette technique est recherché dans le cas de franchissement de vallées longues et profondes (photo 2).

L'utilisation du béton précontraint présente l'avantage d'alléger les structures et de limiter le nombre des piles, ce qui ne manque pas de faciliter l'intégration de l'ouvrage dans le paysage.

**Quelques chiffres** : 6 700 m<sup>3</sup> de béton ont été coulés ; 920 tonnes d'armatures pour béton armé utilisés ; et 155 tonnes de câbles de précontrainte tirés (photos 3 et 4).

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maître d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France

#### **Maître d'œuvre**

Scetauroute

#### **Architecte**

Charles Lavigne

#### **Concepteur**

SEEE

#### **Entreprise**

ETPO

### QUELQUES CHIFFRES

#### **Durée du chantier**

18 mois

#### **Coût**

32 millions de francs HT (4,9 millions d'euros)

# Les Bergères

## Le seul viaduc poussé



Photos 1 et 2  
L'avant-bec accoste la pile,  
haubanée provisoirement  
*The cutwater nears the pier,  
with temporary staying*

Situé sur la commune d'Aix, en Corrèze, le viaduc des Bergères présente la particularité d'être le seul ouvrage poussé de la section Ussel/Le Sancy. Long de 282 mètres, large de 20 mètres, le tablier de l'ouvrage se compose de cinq travées de 42,50 mètres à 65 mètres de long. Il est constitué de voussoirs (4 mètres de hauteur) à inertie constante mis en place par poussage en tronçons de 13 mètres à l'aide d'un avant-bec (photos 1 et 2).

Chaque pile, dont la plus haute culmine à 33 mètres, repose sur une semelle superficielle ancrée sur un massif de 30 micropieux. La portée de 65 mètres est exceptionnelle pour un pont poussé. En conséquence, elle a exigé un avant-bec de plus de 40 mètres. Avec ses encorbellements, la table supérieure du tablier a une largeur de 19,80 mètres. Le viaduc des Bergères est en courbe sur un rayon de 1.300 mètres pour une hauteur de brèche de l'ordre de 40 mètres. Le tablier a été coulé au sol, puis poussé par des vérins installés en tête de pile.



Photo 3  
Les piles du viaduc se fondent dans la vallée boisée  
*The viaduct's piers blend with the wooded valley*

A noter que pour faciliter le glissement du tablier, des plaques Téflon® ont été utilisées, lubrifiées avec du produit vaisselle... (photos 3 et 4).

**Quelques chiffres** : durée du chantier : 20 mois. Coût : près de 50 millions de francs HT (7,6 millions d'euros).

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maître d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France

#### **Maître d'œuvre et conception**

Scetauroute

#### **Architecte**

Philippe Loupiac (Atelier 13)

#### **Entreprises**

- Sogea
- Croiset-Pourty
- Rogard

### ■ BERGÈRES, DONNÉES TECHNIQUES

Le viaduc des Bergères a battu le record du viaduc de Charix sur A40 pour 80 centimètres. "C'est la première fois qu'un caisson pesant plus de 35 tonnes au mètre a franchi une portée de 65 mètres avec un avant-bec métallique de seulement 40 mètres", précise Bernard Souchon, directeur du chantier des Bergères et directeur de travaux chez Razel. Sur le viaduc des Bergères, le tablier a été préfabriqué par tronçons de 13 mètres, mis en place ensuite par poussage au fur et à mesure de leur réalisation.

"Sur la fin, 10 400 tonnes ont été déplacées avec un effort au décollage maximal de 700 tonnes".



Photo 4  
Le viaduc des Bergères dessine une courbe sur un rayon de 1 300 m  
*The Bergères viaduct forms a curve over a radius of 1 300 m*



# La Barricade, une travée centrale de 150 m

**Le viaduc de la Barricade (420 mètres), situé en Corrèze, est le "petit frère" du viaduc de la Clidane. S'il est moins long de 120 mètres, il comporte, en effet, les mêmes piles en double voile et fléaux à épaisseur variable. Il surplombe de 80 mètres le ruisseau de la Barricade (photo 1).**



**Photo 1**  
Les deux viaducs de la Barricade et des Bergères ne sont séparés que par une plate-forme de moins de 100 m

*The Barricade and Bergères viaducts are separated only by a platform of less than 100 m*

Situé entre les communes d'Aix et de Merlines, en Corrèze, le viaduc de la Barricade, qui est conçu selon le même principe que le viaduc de la Clidane, est toutefois moins long de 120 mètres (420 mètres contre 540 mètres). Les points communs concernent la géométrie des piles hautes, en double voile, et les fléaux à épaisseur variable. Les différences ont principalement porté sur les fondations.

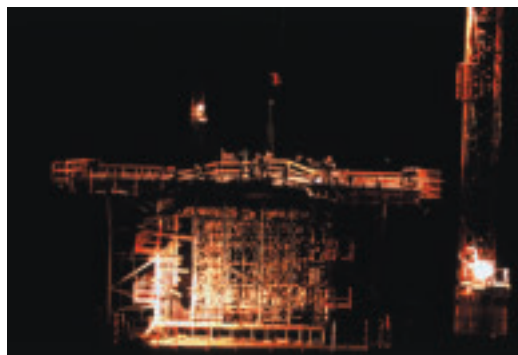
L'ouvrage est constitué de quatre travées, dont une centrale de 150 mètres, les portées entre piles étant de 60, 100, 110 et 150 mètres. Les piles ont été fondées, en fonction de leur hauteur, sur des puits de 4 ou 6 mètres de diamètre, de 10 à 22 mètres de profondeur (photos 2 et 3).

Comme pour le viaduc de la Clidane, la construction des piles constituées d'un double voile (de 1,50 mètre à 9 mètres) a été opérée par levées de 4,20 mètres à l'aide d'un coffrage grim pant. Puis, le tablier a été réalisé par encorbellements à partir des voussoirs sur piles, à l'aide d'équipages mobiles. A noter que les voussoirs des piles centrales ont été coulés en continuité de la pile dans laquelle chacun était encastré.

## ■ BARRICADE : DONNÉES TECHNIQUES

Même principe de construction que le viaduc précédent de la Clidane. Mais, lors des travaux, une faille, de taille, a été rencontrée sur l'un des versants de la vallée de la Barricade. Cette faille a nécessité "de purger le terrain, c'est-à-dire de décaper la partie qui aurait pu glisser", indique Thierry Ledrich, directeur de travaux à l'entreprise Demathieu et Bard et responsable du chantier du viaduc de la Barricade. Pour pallier ce problème géologique, les fondations des piles, du côté du versant purgé, ont été approfondies, passant de 10 à 22 mètres (photo 4).

**Quelques chiffres :** durée du chantier : 24 mois (juillet 1997-juillet 1999). Coût : 80 millions de francs HT (12,2 millions d'euros).



**Photo 3**  
Travail de nuit sur une des grandes piles. L'épaisseur du tablier varie de 4 m sur la pile creuse de rive, à 8 m sur les piles centrales

*Work at night on one of the major piers. Deck thickness varies from 4 m on the hollow pier of the bank, to 8 m on the central piers*

**Photo 2**  
Le voussoir sur pile de la pile creuse

*The segment on the hollow pier*



**Photo 4**  
On observe sur cette photo, les piles en double voile et les fléaux à épaisseur variable

*In this photo can be seen the double-shell piers and the variable-thickness cantilever arms*

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maître d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France

### **Architecte**

Charles Lavigne, Alain Montois

### **Concepteur**

SEEE

### **Maître d'œuvre**

Scetauroute

### **Entreprise**

Demathieu et Bard



# Le viaduc 10 000 tonnes

Photo 1  
Le viaduc  
du Chavanon,  
franchissant la vallée  
du même nom,  
constitue un trait  
d'union entre Limousin  
et Auvergne

*The Chavanon viaduct,  
crossing the valley  
of the same name,  
provides a link  
between the Limousin  
and Auvergne regions*



**Aux confins de la Corrèze, dans la vallée du Chavanon, de modeste histoire mais de si grande beauté, Autoroutes du Sud de la France (ASF) a construit un ouvrage d'art exceptionnel, le viaduc du Chavanon.**

**Ce pont suspendu de 360 m de longueur, achevé à l'aube de l'année 2000, est situé entre les communes de Merlines (Corrèze) et Messeix (Puy-de-Dôme). Il porte, comme tous ces ouvrages, le nom de la rivière qu'il traverse. Aussi, son évidente originalité vient-elle de sa conception : au lieu d'être assuré par deux câbles latéraux, il est porté par un câble central qui lui donne une grâce singulière. L'ensemble culmine à plus de 100 m et met en valeur la vallée. Il est le symbole victorieux, la figure de proue d'une autoroute en devenir, longtemps rêvée, enfin dessinée, l'A89 Bordeaux/Clermont-Ferrand (figure 1).**

## ■ DE LA VALLÉE AU VIADUC

L'histoire est née de l'écriture mais la nature existait bien avant qu'on la nomme et elle a su trouver les voies de son épanouissement. Ainsi la vallée est-elle classée Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF). La flore qui compte de nombreux feuillus comme l'aulne, le chêne et le hêtre, est avant tout remarquable pour les plantes montagnardes et atlantiques inhabituelles dans la région : connaissez-vous le bois gentil, la doronic et l'épine-vinette mais aussi la grande astrance, le lis martagon, l'onagre et enfin la parisette appelée parfois le raisin de renard ?

L'avifaune se distingue par des espèces nicheuses comme le milan royal, le busard Saint-Martin, l'aigle botté, le grand-duc, le martin-pêcheur, le pic noir. On rencontre aussi des espèces de passage ou hivernantes comme la cigogne noire, le faucon pèlerin, la grue cendrée.

Quant à la faune, elle est composée de grands mammifères : des cerfs, des chevreuils et des sangliers qui franchissent la rivière du Chavanon aux endroits où jadis, les hommes avaient coutume de passer. Bien sûr la rivière elle-même est un habitat piscicole. D'une largeur de 10 m en moyenne, son lit bordé d'arbres abrite la truite, le chabot, la loche, le goujon, le vairon et le rotengle. De plus, ses méandres assurent à la population des loutres, en expansion depuis l'ouest, abri et nourriture. A l'ouest, le plateau de Millevaches borde le pays d'Eygurande qui, à son tour, dessine par la rivière du Chavanon une des entrées du parc des volcans.

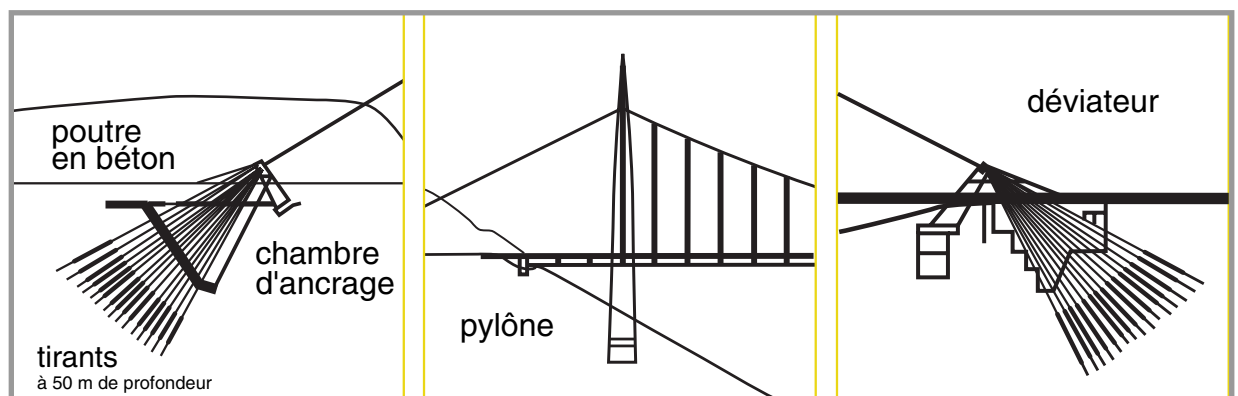
Parce qu'il marque une frontière départementale et régionale, ce petit cours d'eau a été choisi pour la construction d'un ouvrage d'art exceptionnel (photo 1).

L'A89 est remarquable à plus d'un titre : par sa longueur, 340 km, son caractère inédit de transversale ouest/est, son impact socio-économique... mais aussi par la qualité des sites naturels traversés qui impose des choix techniques et esthétiques audacieux. Ainsi, les dix viaducs exceptionnels qui ponctuent l'A89 portent tous le nom des cours d'eau ou des vallées qu'ils franchissent, pour être dignes de leur appellation, ils se doivent, en effet, de respecter leur site. Le viaduc du Chavanon est l'aboutissement du principe que s'est fixé ASF : mettre l'innovation technique au service de l'intégration environnementale.

## ■ LE PROJET

Jean Muller International (JMI), retenu comme concepteur après concours, a proposé, entre autres, un pont suspendu de 300 m de portée, avec un tablier en ossature mixte, acier/béton, et suspension axiale. Cette solution a été retenue pour son heureuse intégration au site puisque les massifs d'ancrage des câbles porteurs pouvaient être fixés sans peine à un rocher de bonne qualité. D'autre part, à portée égale, les pylônes d'un pont haubané, solution plus traditionnelle, auraient dû être implantés à flancs de vallon et dans ce "relief en creux" typique du Massif central, il était souhaitable de préserver l'intégrité du Chavanon afin de favoriser encore une fois l'insertion dans le site. C'est aussi par intention esthétique que la suspension axiale a été choisie. Lorsqu'elle est latérale, les automobilistes ne profitent pas d'une vue dégagée sur le paysage. Enfin, les câbles porteurs étant si-

Figure 1  
Une technologie  
au service  
de l'équilibre  
*Technology  
in the service  
of balance*



# du Chavanon de légèreté

tués dans le plan axial, les pylônes devaient avoir une structure en V inversé qui enjambe le tablier. Les ingénieurs ont pu prouver, grâce aux calculs de dimensionnement qui prennent notamment en compte les effets du vent, que le viaduc suspendu pouvait résister à la torsion, sur plus de 360 m de longueur, avec une seule ligne portante. Il faut savoir que jusqu'ici, une même solidité dépendait de câbles latéraux ou de haubans, lesquels offrent une ligne bien différente de cet ouvrage de grâce et de légèreté.

En matière d'innovation, il faut ajouter la mise en application de la technique du lancement proposée par Cimolaï : une fois les pylônes édifiés, ce fut le tour des câbles porteurs et des suspentes d'être installés. Puis le tablier, préparé sur les deux rives, dut alors être lancé sur les suspentes sans bouleverser le milieu naturel de la vallée du Chavanon (photo 2).

Le tablier a été prévu pour supporter deux chaussées de 8,75 m de largeur roulable. Chacune d'elles comporte deux voies de circulation de 3,50 m et des bandes dérasées de 1 m à droite et 0,75 m à gauche. Compte tenu d'une distance de sécurité suffisante entre les suspentes axiales et les barrières du terre-plein central, cela conduisait à un tablier de 22 m de large. Il fallait donc donner au caisson une taille suffisante vis-à-vis de la raideur en torsion. D'où le projet final de réaliser un caisson unique de 3 m de hauteur totale, 6 m de largeur de base et de 9 m de largeur entre les points hauts des âmes (partie centrale du caisson).

Au droit des pylônes, il était difficile d'appuyer le tablier sur les jambes sans nuire à l'esthétique du projet. C'est pourquoi le tablier file sans aucune connexion avec celles des pylônes. Il fallait donc mettre en place des suspentes dans l'axe de ces pylônes, ancrées directement dans leur tête, reporter l'appui en torsion sur les culées et reprendre l'ensemble des efforts horizontaux sur ces culées. En matière de câbles, la solution adoptée consistait à en réaliser deux, parallèles, chacun composé de 61 torons.

Enfin, la suspension a fait l'objet d'une attention particulière. Il faut savoir qu'elle est constituée par les câbles porteurs, les suspentes, et tous les organes de liaison entre ces éléments ainsi que les autres parties du pont : colliers, selles en tête de pylône, sellettes de déviation, organes de liaison entre suspentes et tablier, et entre suspentes et colliers. Bien que toutes les précautions soient prises pour assurer à tous les organes de la suspension une durabilité suffisante, l'expérience a

prouvé que la longévité de la suspension est bien souvent inférieure à celle des autres éléments de l'ouvrage, c'est-à-dire le tablier, les pylônes, les culées et les fondations. Par conséquent, l'éventualité d'un changement complet de la suspension a été prise en compte dans la conception du viaduc du Chavanon, dès la phase d'avant-projet, et cela avec un minimum de perturbations pour les usagers de l'autoroute.



**Photo 2**  
A la conquête du vide,  
le lancement du tablier  
selon la "méthode  
Tarzan"

*The conquest of space,  
the launching  
of the deck using  
the "Tarzan method"*

## ■ LE CHANTIER : DISCOURS DE LA MÉTHODE ET DU SAVOIR-FAIRE

Dans leur recherche d'élégance, ingénieurs et architectes ont proposé que les longues jambes des pylônes soient finement vrillées et parées de coques en béton bien poli.

Vrillées, les jambes conservent sans lourdeur leur taille maximale là où elle est utile : en largeur en tête de pylône, en longueur à la base. Poli, le béton gagne une douceur au toucher, une richesse de coloris et un brillant merveilleux.

Pour obtenir ces belles jambes, il fut donc décidé d'utiliser deux bétons : du B40G2 pour le parement des fûts, coques réunies en triangle, et du B60, un béton très résistant, coulé à l'intérieur des coques ; en ménageant, pour l'inspection ultérieure de l'ouvrage, des cheminées équipées d'échelles.

La base des triangles isocèles formés par les coques varie : 4,40 m en tête de pylône et 8 m en pied ; et la hauteur de ces triangles varie aussi : de 2,20 m à 5,50 m. A l'hiver 98, secondés par leurs ordinateurs, les ingénieurs et projeteurs ont calculé chaque élément de coque pour obtenir un parfait paraboloïde hyperbolique. Au début du printemps et après sept polissages successifs, les éléments

**Guy Boyadjian**  
DIRECTEUR DU DÉVELOPPEMENT  
ET DU CONTRÔLE DES PROJETS

**Jean-Pierre Roth**  
DIRECTEUR DE LA MAÎTRISE  
D'OUVRAGE  
Autoroutes du Sud de la France

**Elisa Pascal-Gemen**  
**Emmanuel Bouchot**  
**Guillaume de Paysac**  
DIRECTION DE LA COMMUNICATION  
Autoroutes du Sud de la France

## CHIFFRES CLÉS

- Génie civil : 10 000 m<sup>3</sup> de béton ; 1 000 tonnes d'aciers passifs
- Câble porteur : 740 tonnes
- Tablier : 1 650 tonnes de charpente métallique ;
- 60 tonnes de précontrainte transversale
- Marché : 122 millions de francs HT soit 18,6 millions d'euros
- Délai : 28 mois (été 1997 - automne 1999)
- Heures travaillées : 140 000 heures

**Photo 3**  
Le "pont de singe"  
est en place  
pour la pose des câbles  
et des suspentes

*The "monkey bridge"  
is in place  
for the placing of cables  
and hangers*



**Photo 4**  
Gros plan  
sur les torons  
constituant  
le câble porteur

*Close-up  
on the strands  
making up  
the suspension cable*



ont été transportés sur le site avec le plus grand soin.

Les ouvriers ont fondé les jambes sur le substratum rocheux, au printemps 1998, par des puits marocains de 8,50 m de diamètre et 4 à 8 m de hauteur. Dès l'été de la même année, ils ont utilisé des coffrages grimpants et semi-grimpants pour monter les jambes (été 1998) : on coule d'abord, entre trois éléments de coque, une "levée" de béton. Puis on attend que cette levée sèche. On accroche ensuite, sur la levée fraîchement décoffrée, l'équipage d'acier qui accueillera les trois nouveaux éléments de coque; on coule derechef, on laisse sécher cette deuxième levée et on recommence. Le prin-

cipe est simple mais il fallut, sur le Chavanon comme sur chaque ouvrage d'art, sans cesse vérifier les cotes pour conserver aux jambes leurs courbes parfaites. Inclonnées à 20°, les jambes auraient "travaillé" si on ne les avait soutenues par un buttage provisoire (assemblage de poutres horizontales) entre les fûts.

Fin juillet, la mise en place du chevêtre en béton armé, sommet commun aux deux jambes, célébré dans la tradition du bâtiment par un arbuste fixé au sommet, marqua la fin de ce travail délicat.

Un premier filin fut ensuite passé grâce à un hélicoptère, afin de permettre le montage de la passerelle, puis la minutieuse installation des 61 torons constituant chaque câble (photo 3).

Chacun de ces 122 torons est constitué de 61 fils d'acier galvanisé de 5,4 mm de diamètre et de 500 m de long. Livrés sous forme d'énormes bobines, ils ont été patiemment déroulés à l'aide d'un câble tracteur qui faisait le va-et-vient entre les deux rives en passant dans une goulotte caoutchouc au milieu de la passerelle. Et la nuit, pour éviter que la dilatation de l'acier par le soleil ne perturbe les réglages, les équipes de GTM, à 3 heures du matin, se sont mises à affiner la tension de ces torons.

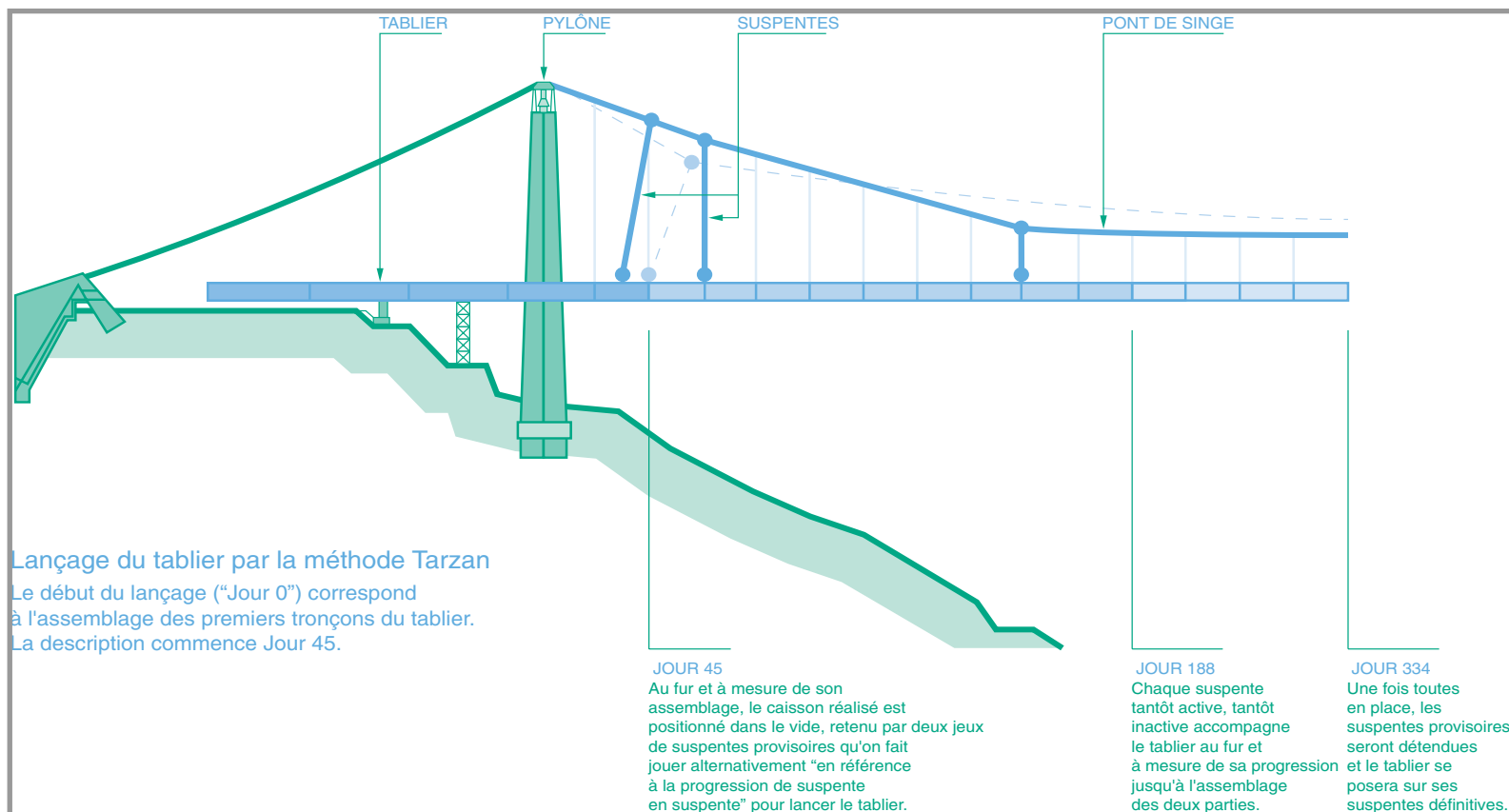
Les deux câbles une fois en place fin octobre, les équipes de Cimolaï ont pris le relais pour lancer le tablier. Ce tablier est constitué d'un caisson central en épaisses tôles d'acier et de bracons extérieurs tubulaires, de part et d'autre du caisson, destinés à soutenir la dalle béton en encorbellement (photo 4).

## ■ LA "MÉTHODE TARZAN"

Tout cet acier a été préparé dans les ateliers Cimolaï, à 80 km au nord de Venise et livré par voie ferrée en gare de Merlines. Acheminé par camion, il a été assemblé dans deux hangars sur les rives par tranches de 17 m.

Au fur et à mesure de son assemblage, le caisson ainsi réalisé a été projeté dans le vide, retenu par deux jeux de suspentes provisoires qu'on faisait jouer alternativement suivant la "méthode Tarzan" – en référence à la progression de suspente en suspente – retenue par GTM/Cimolaï pour lancer le tablier. Les tronçons métalliques du tablier sont, tout d'abord, assemblés par longueurs de 18 m dans des hangars situés sur chaque rive. Puis le tablier, reposant sur la culée et la palée provisoire, est mis en porte-à-faux. L'originalité de la méthode consiste à disposer à l'arrière d'un appui à terre, et à accrocher à l'avant chaque demi-tablier à une suspente reliée au câble porteur du pont. Lors d'un lancement, le tablier est accroché à la suspente arrière la plus proche du pylône; après avoir été déplacée d'une dizaine de mètres par un système de treuils, la suspente avant est accro-





chée au tablier. Celui-ci est alors reculé, ce qui détend la suspente arrière. Le tablier est alors avancé pour que la suspente avant se retrouve verticale. Chaque suspente tantôt active, tantôt inactive accompagne donc le tablier au fur et à mesure de sa progression jusqu'au clavage. Ainsi, le tablier est en permanence appuyé de façon isostatique soit sur la culée et la palée, soit sur la palée provisoire et la suspente.

Ce travail délicat a duré de novembre 1998 à mai 1999. Et quand les deux demi-tabliers lancés à partir des deux rives se sont rencontrés, les suspentes définitives étaient prêtes (figure 2).

La longueur de ces suspentes varie de 6 m pour celles situées au centre de l'ouvrage, à 37 m pour les suspentes de rive, sous les pylônes. Un grand atelier d'assemblage rive Est et un soin particulier apporté aux processus industriels ont permis d'obtenir, à une température ambiante de 5°C entre janvier et avril 99, la précision souhaitée.

Poussées par les ouvriers sur des chariots et deux rails sommaires, les suspentes ont été traînées l'une après l'autre, hissées par leur tête jusqu'aux câbles, descendues et enfilées dans le tablier, remontées et accrochées au double câble, serrées au tablier par un écrou de 30 cm de diamètre. Une fois toutes en place, les suspentes provisoires ont été détendues et le tablier s'est posé sur ses suspentes définitives, le bétonnage pouvait commencer.

## ■ BÉTONNAGE PAR PIANOTAGE

Pour ne pas imposer des efforts trop importants à la charpente métallique, on bétonne d'abord au milieu, sur le caisson, puis en repartant des rives tou-

jours sur le caisson; on recommence ensuite sur les encorbellements, au milieu, et enfin des rives vers le milieu. Un travail précis qui a duré de juillet à octobre 1999. La dalle béton ainsi obtenue se retrouve en porte-à-faux sur les encorbellements. On la rigidifie en la serrant très fortement dans sa largeur par de nombreux petits câbles : c'est la précontrainte transversale.

Pendant ce temps, d'août à octobre, les peintres ont appliqué sur le double câble, puis sur le caisson une couche de peinture anticorrosion de 400 microns d'épaisseur. Les terrassiers et paysagistes ont remodelé le sol aux pieds des pylônes pour lui redonner un aspect naturel.

Deux suspentes voisines pourraient être cassées sans qu'il soit nécessaire d'arrêter la circulation sur le viaduc du Chavanon. Cet événement n'étant pas souhaitable, les suspentes sont fortement protégées des chocs par des barrières en béton fortement armé et renforcées d'une glissière acier posée en octobre et novembre. A partir du mois de décembre, de puissantes barrières normalisées numéro quatre, les mêmes que sur les autres viaducs de la section, ont été installées pour défendre les côtés. Elles accueillent à leur base les corniches caniveaux, peintes en blanc, qui recueillent toutes les eaux de la plate-forme. En décembre également, la passerelle, devenue inutile, a été démontée; les chambres d'ancrage et les têtes de pylônes ont reçu leur coiffes de béton poli, brillant comme du marbre.

En janvier 2000, l'étanchéité a été réalisée sur le tablier. Un finisseur l'a ensuite couvert d'une couche de 70 mm de béton bitumineux : dernière prise de poids pour le viaduc.

Puis ce fut l'heure du réglage définitif des suspentes. Toutes les charges étaient en place, le ta-

**Figure 2**  
**Lancement du tablier par la méthode Tarzan**

*Launching the deck using the Tarzan method*

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maître d'ouvrage**

Autoroutes du Sud de la France

### **Maître d'œuvre**

Scetauroute

### **Concepteur**

Jean Muller International

### **Architecte**

Jean-Vincent Berlottier

### **Entreprises**

- GTM : génie civil, câbles, suspentes
- Cimolai : charpente métallique
- Baudin Chateauneuf : fourniture de câbles porteurs

blier entièrement dégagé. Le géomètre est venu calculer les réglages à opérer. L'une après l'autre, on a tiré les suspentes au vérin, et on les a écartées du caisson puis on a réglé les écrous et relâché le vérin. Le tablier est enfin droit.

Un peu de peinture sur la chaussée pour que chacun suive sa voie et une lampe clignotante sur les têtes de pylône afin d'éloigner les avions de nuit. Le viaduc du Chavanon, après plus de 140 000 heures de travail, était prêt au printemps à accueillir les véhicules de l'an 2000 (photo 5).



**Photo 5**

Les pylônes, en forme de V inversé sont constitués de fûts en béton armés. Chaque levée des jambes des pylônes de 2,50 m a été coulée dans les coffrages "perdus" en plaques de béton poli à partir d'un équipage grim pant

*The towers, in the form of an inverted V, consist of reinforced concrete shafts. Each rise of the tower posts by 2.50 m was poured in "lost" forms consisting of polished concrete plates using travelling formwork*

## CONCLUSION

Lorsque l'on contemple cet ouvrage d'art très exceptionnel, on se prend à penser aux frêles passerelles du temps passé, créées en différents points du globe. Tant il est vrai que l'homme a toujours ressenti le besoin de franchir les obstacles naturels et d'inventer les moyens d'y parvenir. De lianes puis de cordes, les ponts suspendus ont ensuite été faits de chaînes puis de câbles. Leur tablier était en bois, en pierre puis en métal. Celui du Chavanon est en acier et en béton.

On connaît toutes sortes d'ouvrages de franchissement : les ponts à haubans, à portiques, en arc, à poutres ou à béquilles... cependant le pont suspendu est le seul type d'ouvrages qui permet les plus grandes portées. Pour le tablier du Chavanon, 300 m. Mais avant tout, ce viaduc se distingue par sa ligne. En effet, dès sa mise en chantier, il a recueilli de nombreux suffrages d'admiration tant il exprime l'élégance : 10 000 tonnes (poids du tablier) de légèreté qui rappellent que la droite, la courbe et le triangle se mêlent volontiers de grâce.

## ABSTRACT

### The Chavanon viaduct. 10,000 tonnes light

*G. Boyadjian, J.-P. Roth, E. Pascal-Gemen, E. Bouchot, G. de Paysac*

**The idea of a suspension bridge over the wild valley of the Chavanon leaving the slopes intact was very quickly adopted. However, the real innovation that makes the Chavanon an original bridge is its single suspension in the centre-line of the deck instead of the usual side suspensions. Despite the technical difficulties (twisting) that it represents, this solution was adopted because of the reduced weight it places on the structure. The article reviews this Tancarville of the year 2000.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### El viaducto del Chavanon. 10 000 toneladas de estructuras livianas

*G. Boyadjian, J.-P. Roth, E. Pascal-Gemen, E. Bouchot y G. de Paysac*

**No tardó mucho en imponerse la idea consistente en un puente colgante que dominase el valle salvaje del Chavanon para dejar intactas sus vertientes. Pero, la verdadera innovación, que hace que el puente del Chavanon sea algo inédito, es su suspensión única en el eje del tablero, en lugar de las tradicionales suspensiones laterales. Pese a las dificultades técnicas (torsión) que esta solución representa, su adopción se debe a la liviandad que aporta a su estructura. Ubicación y estado de este Tancarville del año 2000.**

# Le viaduc de la Clidane

**Le viaduc de la Clidane constitue pour Autoroutes du Sud de la France un des grands ouvrages de l'autoroute A89.**

**Il s'agit d'un viaduc mono caisson en béton précontraint de 540 m de longueur et de 19,56 m de largeur comportant six travées dont une de 132 m.**

**Réalisé par la méthode des voussoirs en encorbellement successif en 26 mois, ce chantier a dû faire face à des conditions d'exécution difficiles dans un environnement naturel protégé.**

## ■ CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'OUVRAGE

Destinée à désenclaver le Massif Central et à réaliser la liaison Est-Ouest par le centre de la France, l'autoroute A89 traverse une région touristique à proximité du parc des volcans d'Auvergne. Les travaux de la section 7 entre l'échangeur de St-Julien/Sancy et celui de Ussel ouest (figure 1) ont été engagés en 1997 sur une cinquantaine de kilomètres et comportent notamment le franchissement de la vallée de la Clidane, qui permet le passage de la voie ferrée reliant Clermont-Ferrand à Ussel. Le viaduc de la Clidane, est construit dans une ZNIEFF (Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique), ce qui signifie que l'impact des travaux sur le site doit être minimal. L'ouvrage, situé à une altitude moyenne de 740 NGF, est soumis à des vents ainsi qu'à un enneigement et un gel importants.

La brèche à franchir présente un profil très dissymétrique. Côté Clermont-Ferrand, en rive droite du ruisseau de faible débit, le tracé enjambe un thalweg avant la brèche principale et côté Bordeaux, le versant présente une pente régulière très prononcée. La vallée de la Clidane entaille profondément des formations cristallophylliennes de gneiss métamorphiques parfois fortement altérés sur une dizaine de mètres de profondeur sous une faible couverture d'éboulis. L'ensemble du site est entièrement boisé et d'accès particulièrement difficile (photo 1).

## ■ LES ORIGINES DU PROJET

Après avoir désigné Setc TPI dans les fonctions de maître d'œuvre particulier, ASF a lancé un concours pour attribuer à une équipe – composée d'un bureau d'études spécialisé et d'un architecte –, les



Figure 1  
Situation géographique de la section 7  
Geographical location of section 7

**Jean-Marc Jaeger**



DIRECTEUR DE PROJET  
MOEP

**Neme El-Khoury**



DIRECTEUR DE TRAVAUX  
MOEP

**Jean-Pierre Ragaru**



CONCEPTEUR

**Charles Lavigne**



ARCHITECTE  
Cabinet Lavigne

**Alain Montois**



ARCHITECTE  
Cabinet Lavigne

**Eric de Bélizal**



DIRECTEUR  
DES TRAVAUX  
Spie Batignolles TP

**Jean-Jacques Lagane**



INGÉNIEUR EN CHEF  
Spie Batignolles TP

**Christophe Bienbeau**



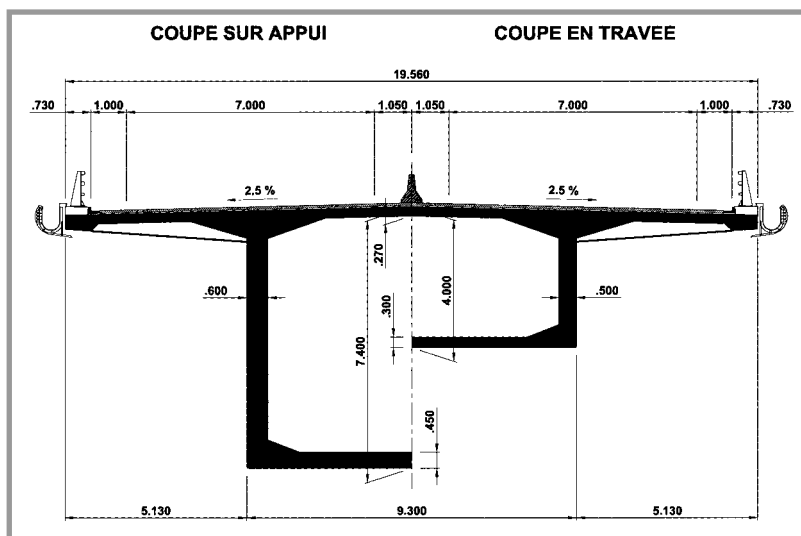
DIRECTEUR  
D'EXPLOITATION  
Spie Précontrainte



Photo 1  
Vue d'ensemble  
General view



Figure 2  
Coupe transversale  
Cross section



de la réflexion et du travail sur les structures ainsi que sur l'apurement des lignes plutôt que d'une architecture ou d'un décor inutilement rapporté. L'intégration réussie d'un ouvrage d'art réside principalement dans la relation harmonieuse qu'il entretient avec son site d'implantation.

Cette démarche est donc orientée vers des solutions dont les structures, piles et tabliers, présentent des silhouettes propres à se composer avec les grandes lignes du site.

Le traitement architectural s'inspire du contexte naturel des paysages traversés, en particulier au niveau de la couleur des corniches métalliques.

La brèche principale est encadrée par des piles de grande hauteur dont la caractéristique principale est d'être constituée de deux voiles parallèles. Ces piles sont dédoublées pour des raisons à la fois techniques et architecturales. En effet, le double voile offre une souplesse permettant l'encastrement avec le tablier et contribue à la légèreté dans l'environnement. Elles sont réalisées en béton lisse avec des levées de bétonnage bien marquées par des joints creux. Les piles secondaires sont constituées de voiles simples.

Les tabliers sont des monocaissons de hauteur variable sur les grandes travées et de hauteur constante sur les travées adjacentes. Les âmes sont verticales afin de ne pas élargir démesurément la face latérale des grandes piles. Les encorbellements sont nervurés.

En bordure de tablier, la rive d'ouvrage est constituée d'une corniche caniveau avec un carénage en aluminium prélaqué et d'une BN4 peinte.

### Le parti technique et l'appel d'offres

Le choix s'est porté, dans le cas du viaduc de la Clidane, sur une solution de 540 m de longueur à six travées de sorte que les piles de la grande travée (132 m) franchissant le fond de la vallée sont sensiblement de même hauteur.

Le tablier, constitué d'un monocaisson en béton précontraint, est construit par encorbellements successifs symétriques et les voussoirs sont bétonnés en place par l'intermédiaire d'équipages mobiles. L'équilibre statique longitudinal de l'ouvrage est assuré par la fixation de l'ouvrage sur la pile creuse P4. Les appuis sont fondés sur des puits marocains. Pendant la construction du tablier, les piles doubles sont entretoisées par un treillis métallique. Cette solution a été mise en appel d'offres en novembre 1996 avec en parallèle une variante en caisson métallique établie sur la même trame.

### ■ ATTRIBUTION DU MARCHÉ

C'est la proposition du groupement Spie Batignolles TP (mandataire), Spie Citra Sud-Est, Nord France

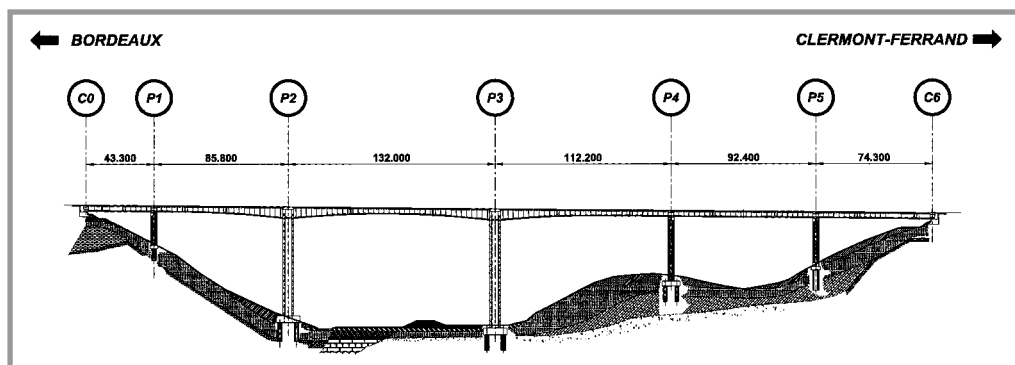


Figure 3  
Coupe longitudinale  
Longitudinal section



études de conception du viaduc de la Clidane. Le choix du parti retenu pour l'ouvrage a été effectué par ASF au stade du concours et résulte d'une collaboration étroite entre le bureau d'études (Setec TPI - Ingerop) et l'architecte (cabinet Charles Lavigne).

### Le parti architectural

La démarche architecturale conduit simultanément à une réflexion structurelle et à une approche plastique. La qualité d'un ouvrage résulte davantage

TP, qui a été retenue par Autoroutes du Sud de la France avec la solution en béton précontraint pour un montant de 90 millions de francs hors taxes. Les travaux, d'une durée de 26 mois ont été notifiés le 21 mai 1997. Ils incluaient deux hivers et chaque année près de trois mois étaient neutrales pour intempéries.

## ■ DESCRIPTION DU VIADUC

Le tracé en plan, au droit du viaduc, est une courbe de rayon 2 500 m et le profil en long possède une pente de 1 %.

Le profil en travers en toit comporte 2 x 2 voies de 3,50 m séparées par un terre-plein central de 2,10 m équipé d'une glissière double en béton armé (DBA) et deux bandes dérasées de 1,0 m (figure 2). Des contre-corniches de 0,73 m assurent l'ancrage des BN4.

L'ouvrage comporte six travées de longueurs respectives d'ouest en est 43,30 m - 85,80 m - 132,00 m - 112,20 m - 92,40 m et 74,30 m (figure 3).

Les voiles des deux grandes piles ont une dimension de 11,30 m par 1,50 m.

Les piles courtes sont des caissons aux angles fortement chanfreinés.

L'ensemble des piles est fondé sur des puits marocains de 2,50 m à 4,00 m de diamètre et de 7 à 13 m de profondeur, les culées étant fondées superficiellement. Les piles-caissons et les culées sont équipées d'appareils d'appui glissants, hormis la pile P4 sur laquelle se trouve l'appui fixe de l'ouvrage.

Le tablier est constitué de voussoirs de longueur 3,30 m, de hauteur variable de 7,40 m à 4,00 m, leur poids variant de 170 t à 120 t. Les âmes verticales présentent de nombreuses variations d'épaisseur, notamment sur les fléaux de hauteur constante. En effet, de fortes sollicitations sur appui en phase de construction et en service ont conduit à une épaisseur maximale de 1,10 m (ramenée à 90 cm en faisant plonger les premiers câbles de fléau), pour une épaisseur courante de 0,50 m. Les nervures des encorbellements de 5,13 m s'encastrent dans les goussets d'âme, importants du fait de la présence des gaines intérieures.

Les voussoirs sur pile sont modulés sur trois mailles, soit 9,90 m de longueur pour un poids de 1 065 t sur P2 et P3 et 630 t sur les autres piles (figure 4).

La précontrainte (système SB récemment agréé par la CIP) est réalisée en deux phases distinctes :

- ◆ la précontrainte de construction composée de câbles longitudinaux intérieurs 19T15 et transversaux 4T15 gainés graissés ;
- ◆ la précontrainte de continuité composée de câbles 19T15 intérieurs et 27T15 extérieurs munis de systèmes anti-vibratiles.

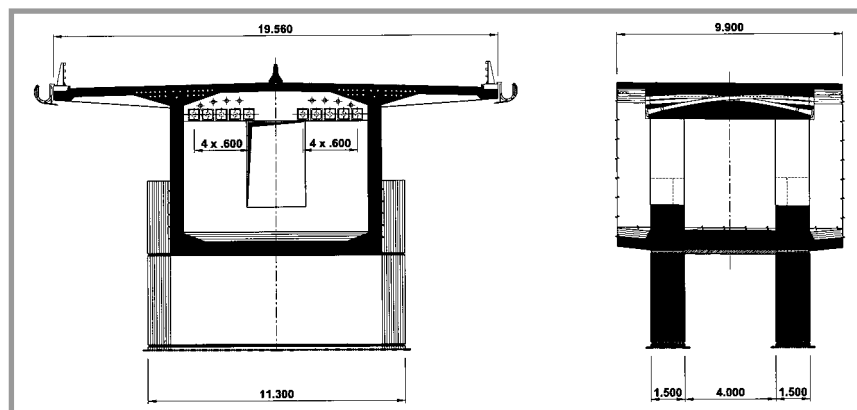


Figure 4  
Voussoir  
sur pile P3  
Segment  
on pier P3

## ■ LES PARTICULARITÉS DE L'ÉTUDE

### Les études de stabilité

La vallée de la Clidane est soumise à un régime de vents turbulents (32 m/s avec une période de retour de 50 ans – étude réalisée par le CSTB). Le parti technique et architectural des grandes piles en voiles dédoublés, s'il contribue à la légèreté de l'ouvrage dans l'environnement, nécessite le blocage du tablier sur un autre appui pour assurer la stabilité de l'ouvrage en service. Celui-ci doit donc être vérifié au flambement d'ensemble vis-à-vis des charges horizontales longitudinales.

Le bureau d'études Serf a utilisé pour ce calcul le logiciel SYSTUS option Grands déplacements couplé avec le programme SECTION, contrôlé à l'aide du logiciel FLAMB de Spie Batignolles TP généralisé à une structure en portique.

La construction des fléaux en encorbellement fut également une phase délicate des études compte tenu des effets dynamiques de vent et de la fondation dans la pente des piles de rive. Le bureau d'études a fait, pour chaque fléau, une analyse modale stochastique du vent turbulent, à l'aide de son logiciel TORNADO.

### Une approche automatisée des plans de voussoirs

Le calcul d'ensemble du tablier a été effectué par le bureau d'études de Spie Batignolles TP, à l'aide de la chaîne de calcul PUZZLE, option Fluage scientifique.

Pour ce faire, le tablier et les piles solidaires du tablier sont modélisés dans l'espace et l'originalité de la démarche réside dans l'établissement des plans de précontrainte et des plans d'armatures à partir de la même source alimentant les calculs. En effet, le module DESCAB, couplé avec la DAO, permet l'établissement de tous les plans de précontrainte, y compris la définition des tubes coffrants. Le module "vous" permet le tracé des armatures

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

### Bétons

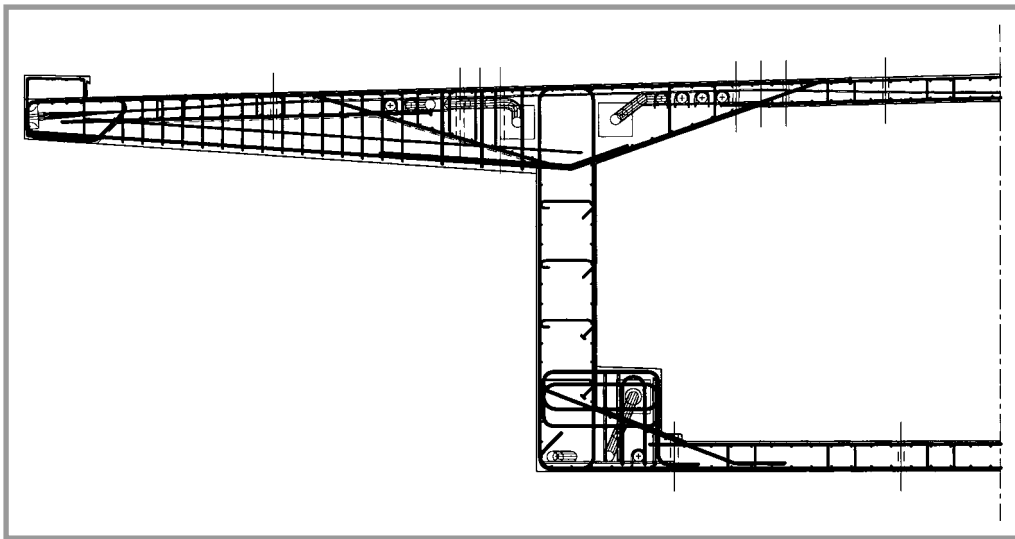
- Puits marocains : béton : 500 m<sup>3</sup>
- Semelles : béton : 2 550 m<sup>3</sup>
- Piles : béton : 5 550 m<sup>3</sup>
- Culées : béton : 1 050 m<sup>3</sup>
- Tablier : béton : 9 400 m<sup>3</sup>

### Armatures

- Puits marocains : aciers : 110 t
- Semelles : aciers : 404 t
- Piles : aciers : 630 t
- Culées : aciers : 98 t
- Tablier : aciers : 1 120 t

### Précontrainte

- Transversale : 61 t
- Intérieure : 290 t
- Extérieure : 129 t
- Montant du marché : 89986480 F HT base novembre 1996
- Marché notifié le 21 mai 1997
- Délai : 26 mois dont 22 semaines d'intempéries prévisibles



**Figure 5**  
Armatures d'un voussoir courant  
Reinforcements of a typical segment



courantes des voussoirs en tenant compte de la position des gaines (figure 5).

Enfin, la superposition des deux modules donne la position automatique des supports de gaines dans n'importe quelle section du tablier.

L'unicité des informations assure ainsi la cohérence entre le calcul et les dessins, et les traditionnels conflits entre gaines de précontrainte et armatures ont pu être résolus ailleurs que dans l'enceinte des équipages mobiles.

### ■ LA MISE AU POINT DES BÉTONS

L'environnement géographique particulier de l'autoroute A89 impose à l'exploitant le traitement des chaussées en hiver avec des sels de déverglaçage. Les conditions extrêmes de température, (des valeurs de  $-15^{\circ}\text{C}$  sont courantes au lever du jour en janvier ou février), ont donc conduit le concepteur à prendre des précautions vis-à-vis de ces deux phénomènes souvent concomitants. Les catégories de bétons utilisés sur la Clidane sont :

- ◆ B 30 G pour les puits marocains et semelles ;
- ◆ B 30 G + S pour les culées et superstructures ;
- ◆ B 45 G + S pour les piles et tablier.

Tous ces bétons devaient respecter notamment les recommandations techniques du Groupe de travail Rhône Alpes (GRA) pour la durabilité des bétons soumis au gel et aux sels de déverglaçage.

L'étude de ces bétons a été délicate et on ne pouvait s'appuyer sur aucune expérience similaire précédente dans la région. Il a fallu dans un premier temps trouver des agrégats répondant aux caractéristiques requises pour ces bétons. Ce sont les diorites provenant de la région de Montluçon qui ont été retenues pour les bétons G + S et les gneiss d'une carrière locale pour les autres catégories. Ensuite, des phénomènes de rhéologie très aléa-

toires, ainsi que l'apparition de "moustaches" en parement ont compliqué la mise au point finale. Après analyse par les laboratoires, ces problèmes furent résolus en utilisant un nouveau superplastifiant très réducteur d'eau qui maintenait constante la plasticité de départ du béton pendant au moins deux heures.

Les centrales à béton (capacité  $80\text{ m}^3/\text{h}$  nominale) étaient situées à une quarantaine de minute de route du chantier pour le côté le plus défavorable et desservait la plupart des chantiers de la section autoroutière.

### ■ LA RÉALISATION DES APPUIS

#### Les travaux préparatoires

Environ 700 m de pistes furent ouvertes sur chaque versant de la vallée car la rivière Clidane et la voie SNCF formaient des obstacles infranchissables. La piste côté ouest se révéla particulièrement difficile à réaliser en raison d'un terrain très hétérogène et de qualité médiocre. De plus, l'exiguïté des emprises utilisables et les contraintes environnementales imposèrent une pente longitudinale forte (15 %) et des ouvrages de soutènement importants (murs cloués ou remblais d'enrochements). Ces travaux furent réalisés dans un souci de respect de l'environnement obtenu en minimisant les surfaces de déboisement et en traitant l'écoulement des eaux ainsi que leur recueil en fond de vallée. En fin de chantier, seules les pistes resteront apparentes avec des aménagements locaux de terrassement pour minimiser leur impact visuel.

#### Les terrassements de l'ouvrage

Les terrassements des appuis sont réalisés à l'abri de parois clouées revêtues de béton projeté armé. Les semelles des piles P2 et P3 situées en pied des versants, ( $15\text{ m} \times 15\text{ m} \times 4,25\text{ m}$ ), sont enterrées en totalité et devaient être réalisées à l'abri de batardeau de type "berlinoise". Le groupement a proposé une variante sur P3 consistant à terrasser une fouille élargie avec stabilisation des parois par cloutage. Sur la pile P2, après réalisation de la paroi clouée, la très mauvaise qualité du terrain et son comportement pendant les phases de terrassement ont fait craindre des difficultés lors de la réalisation du batardeau. Des avant-puits blindés ont été creusés manuellement avec des moyens plus légers à travers les terrains fluants jusqu'au niveau des gneiss altérés (photo 2).

#### Les terrassements à l'explosif côté ouest

Les travaux de déblaiement du lot de terrassements généraux à proximité de la culée Est ne pouvaient



**Photo 2**  
Avant-puits et paroi de la pile P2  
Pilot shaft and wall of pier P2



se faire qu'à l'explosif et les programmes de travaux respectifs des deux lots ont imposé le dispositif de coordination suivant :

- ◆ prédécoupage profond du rocher permettant de réfléchir une partie des ondes de choc et filtrant ainsi une partie de l'énergie ;
- ◆ essais de convenance pour mesurer les vitesses particulières à différentes fréquences ;
- ◆ interdiction de tirer pendant le durcissement du béton (24 heures) ;
- ◆ limitation des vitesses particulières en fonction des fréquences, des mesures ayant été réalisées à chaque tir.

### Les puits marocains

La technique de creusement des fondations par puits marocain permet de minimiser l'impact en surface des semelles de fondations en allant chercher le sol porteur en profondeur. Après un prédécoupage au cordeau détonnant effectué depuis la surface sur toute la hauteur du puits, on procède à un terrassement mécanique dans les niveaux altérés. Les parois sont drainées en cas de besoin par des barbacanes et chaque passe est blindée avec un revêtement en béton projeté. Dès que l'on atteint des horizons plus durs, on procède au minage avec des tirs microretardés ou à l'utilisation d'un trépan.

Les puits sont armés en périphérie et coulés en une seule phase.

Les couches rencontrées étaient essentiellement des gneiss, localement des migmatites, très fissurés et fracturés. Au niveau des têtes de versants, on trouvait en surface des arènes, produits d'altération du substratum tandis qu'en fond de vallée existait une couche d'alluvions sablo-graveleuses d'épaisseur moyenne.

La réalisation des puits s'est déroulée pendant la première phase hivernale dans des conditions de gel difficiles pour les équipes. Sur le versant ouest de la Clidane, deux incidents ont perturbé la réalisation des travaux : des poches d'argile sur un puits de P1 et une faille subverticale interceptée sur un puits de la pile P2 imposèrent d'approfondir les deux puits de P1 de 2 m et un puits de P2 de 5 m.

### Les semelles de fondation

Les semelles les plus importantes (1000 m<sup>3</sup> sur P2 et P3) furent bétonnées en deux phases à travers un ferrailage très dense (140 kg/m<sup>3</sup>) (photo 3). La centrale à béton était à cette occasion monopolisée par le chantier, les bétonnages ayant duré pour certains près de vingt heures.

En raison de l'exiguïté des plates-formes, le montage des grues devait s'intercaler entre réalisation de la semelle et celle du fût, opération qui pouvait durer deux à trois semaines pour les grandes piles.



**Photo 3**  
Semelle de la pile P3  
*Footing of pier P3*

Des fondations semi-profondes durent être réalisées sous les voies de grue de P2 et P3.

Les matériels utilisés ont été soit des BPR 446C3 de 12 t de capacité travaillant à hauteur d'autonomie sur les fléaux courts, soit des grues Potain K4-59 et K5-56 de 70 m de flèche pour les fléaux 2 et 3. Ces dernières étaient équipées d'ascenseur. Elles furent ancrées à la pile à la fin de la réalisation du fût et télescopées pour la construction du tablier. La grande capacité de ces deux grues (16 et 20 t respectivement) ont permis d'améliorer les cadences en utilisant des bennes à béton de 3 m<sup>3</sup>. Toutes les grues se recouvrant deux à deux étaient équipées de système de gestion d'interférence centralisé.

### Les piles

Les coffrages de piles sont de type semi-grimpant sur consoles et découpent les fûts en éléments de 4 m. Les piles P1, P4 et P5 (20 à 45 m de hauteur) ont été réalisées à raison d'une levée tous les deux jours. Les fûts sont surmontés d'un chevêtre plein. Ce dernier reçoit les équipements d'appareil d'appui, de visite (trou d'homme) et de clouage provisoire des fléaux.

Les piles P2 et P3, (66 m et 68 m de hauteur) (photo 4), possédaient un coffrage permettant le bétonnage des deux voiles en même temps. Elles ont nécessité la mise en place d'un entretoisement provisoire composé de HEB 450. Cette disposition, tout en augmentant la difficulté de réalisation, limitait les déplacements de la tête de pile et les déformations du fléau. Prévu initialement avec des ancrages par barres précontraintes, la fixation de ces profilés a été modifiée en les scellant au bétonnage de chaque levée pour :

- ◆ ne pas pénaliser les cadences prévues pour la réalisation des levées par la mise en place d'inserts compliqués ;
- ◆ inclure la mise en place des profilés dans le cycle ;



**Photo 4**  
Pile P2 en cours de construction  
*Pier P2 during construction*



**Photo 5**  
Bétonnage en cours  
sur le VSP1

*Concreting  
the arch segment  
on pier P1*



**Photo 6**  
Fléau 1 et VSP2  
terminés

*Cantilever arm 1  
and segment on pier 2  
completed*



**Photo 7**  
Les nervures  
sous les encorbellements

*Ribbing  
under the cantilevering*



- ◆ s'affranchir des tolérances béton supérieures à celles de la charpente métallique ;

- ◆ simplifier le démontage en fin de chantier.

La découpe des profilés a été effectuée dans une engravure prévue au coffrage, cachetée ensuite avec un mortier de résine teinté dans la masse. Malgré une quantité importante de béton (130 m<sup>3</sup> par levée), la cadence prévue de deux jours par levée sera atteinte.

Les cages d'armatures des levées de piles ont été préfabriquées sur des gabarits et mises en place en une seule pièce avec des palonniers.

## ■ LA RÉALISATION DU TABLIER

Le tablier de 19,56 m de large, à encorbellements nervurés, est tramé sur un module constant de 3,30 m qui correspond à l'espacement des nervures. Seules les travées de rive coulées sur cintre échappent à cette contrainte à leur extrémité.

### Les voussoirs sur pile

Les voussoirs sur pile constituent l'amorce du tablier qui servira à recevoir les équipages mobiles destinés à la construction des voussoirs courants. Une plate-forme est installée en tête de la pile et un coffrage spécifique de 9,90 m de longueur est monté sur cette plate-forme.

Les VSP sont de deux types :

- ◆ sur les fléaux 1, 4 et 5 ils sont indépendants du fût de pile et reposent provisoirement sur le chevêtre par l'intermédiaire de quatre boîtes à sable. Un clouage composé de câbles 19T15 verticaux ancrés en sous-face du chevêtre de pile, (deux câbles sur P1 et six câbles sur P4 et P5) est mis en œuvre à la fin de la construction du VSP et permet ainsi de reprendre les efforts de dissymétrie de construction et du vent. Leur hauteur réduite (4 m) permet de les réaliser en deux phases (photo 5) ;

- ◆ sur les fléaux 2 et 3, le tablier est encastré dans les fûts de piles (photo 6). C'est la rigidité propre de la pile contreventée provisoirement qui reprend les efforts cités précédemment. Ces éléments de tablier de 7,40 m de hauteur nécessitent trois phases de bétonnage et un délai de réalisation de 2 mois environ.

### Les équipages mobiles

Le planning des travaux a nécessité la mise en place de deux paires d'équipages mobiles qui ont été conçus par le bureau de méthode Semi à Chambéry. Les nervures en sous-face des encorbellements ont représenté une sujétion importante dans l'étude de conception et de cinématique de l'équipage (photo 7). Elles ont été positionnées au centre du voussoir afin d'utiliser les équipages pour la réa-



**Photo 8**  
**Equipage mobile en phase de déplacement**  
*Travelling formwork being moved*

lisation des voussoirs de clavage. Les équipages sont du type "par dessous", ce qui dégage entièrement la surface supérieure pour la mise en place des cages d'armatures. La particularité notable de ces équipages consiste dans la grande raideur due à des poutres principales de très forte inertie et dans le système de translation unique par poutres tiroir situées à l'intérieur du caisson. Elles permettent ainsi d'avancer alternativement le coffrage extérieur, puis le coffrage intérieur (photo 8). Les équipages ne sont pas spécialisés. Ils peuvent indifféremment réaliser des voussoirs de hauteur constante ou de hauteur variable. Les fléaux P1, P4, P5 de hauteur constante comportent respectivement 4, 2 x 12 paires de voussoirs. Les fléaux P2 et P3 de hauteur variable sont composés de 18 paires de voussoirs chacun.

### **Les voussoirs de fléaux**

La construction des fléaux a débuté par celui de la pile P1 au printemps 1998. Les retards survenus au début du chantier dans les travaux d'accès et de certains puits marocains, l'optimisation à la remise de l'offre des rotations des matériels de coffrage des piles et du tablier, ainsi que l'obligation de permettre le passage des matériaux de chaus-



**Photo 9**  
**Décembre 1998 -**  
**Fléaux 2 et 3**  
**en cours de réalisation**  
*December 1998 -*  
*Cantilever arms 2 and 3*  
*during construction*



**Photo 10**  
**Avancement des travaux**  
**en mars 1999**  
*Work progress*  
*in March 1999*

sée en juillet 1999 sur l'ouvrage, ont conduit le groupement à mettre en place deux postes de travail pour la réalisation du tablier. Cette nouvelle organisation a débuté en septembre 1998 et s'est achevée au dernier voussoir du fléau 2 en mars 1999 (photos 9 et 10). Cette période du chantier fut certainement la plus dure pour les équipes, compte tenu de la rigueur du climat auvergnat. Les cycles de fabrication ont été très variables en fonction des voussoirs (hauteur, présence d'un déviateur, nombre de câbles et gaines de précontrainte, nombreuses variations d'épaisseur d'âme sur certains fléaux...), ou des conditions météorologiques pour la montée en résistance du béton. La mise en tension des câbles de fléau nécessitait une résistance mini du béton de 21 MPa à 26 MPa selon les voussoirs. Ces résistances, facilement atteintes en été, ont parfois obligé le chantier à attendre un ou deux postes supplémentaires pour les obtenir au cœur de l'hiver. La durée des cycles a été en moyenne de trois jours par paire, certaines ayant été réalisées en deux jours, notamment sur le fléau 2. Cette durée incluait la mise en œuvre de la précontrainte transversale avant l'avancée de l'équipage. Ceux-ci étaient calorifugés, équipés de châssis et de bâches isothermes en partie supérieure. Des chauffages par air pulsé furent mis



► en place pendant tout l'hiver à l'intérieur du caisson et sur le hourdis supérieur. Les épreuves d'information des bétons ont été réalisées à l'aide d'un "résiscope" utilisant le principe de maturimétrie étalonnée par un laboratoire. Enfin les armatures ont été préfabriquées en deux pièces pour tous les voussoirs et mises en place à l'aide d'un palonnier de 20 m, notamment pour le hourdis supérieur. Les gaines et les câbles de précontrainte transversale étaient mis en place sur le banc de préfabrication.

**Les voussoirs sur cintre**

Les travées de rive sur cintre destinées à raccorder les fléaux d'extrémité aux culées ont été réalisées sur des palées provisoires composées de profilés métalliques, tant pour les éléments verticaux que pour les horizontaux. Ce système a assuré un délai court de montage et démontage. Le

hourdis inférieur était coffré avec des plateaux en bois tandis que le caisson était réalisé avec les outils provenant des VSP terminés. Ces travées, d'une longueur de 27 m et 30 m respectivement ont été bétonnées en trois phases, la troisième réalisant le clavage sur le fléau voisin.

**La précontrainte**

La précontrainte du tablier réalisée à partir d'unités du procédé SB distribué par Spie Précontrainte, est l'un des procédés les plus récents du marché. La précontrainte intérieure de construction fut réalisée en unités 19T15 Super d'une puissance de 430 t (figure 6) :

- ◆ câbles de fléaux : 23 paires (sauf fléau P1 : cinq paires);
- ◆ câbles éclisses : trois à six paires.

La précontrainte transversale fut réalisée en unités 4T15 Super en fonte, d'une puissance de 90 t, avec des torons gainés graissés. Leur répartition était uniforme à raison de quatre câbles par voussoir en évitant les nervures axiales et les ancrages de BN4.

La précontrainte extérieure de continuité fut réalisée en unités 27T15 Super démontable, d'une puissance de 615 t, à raison de deux à cinq paires de câbles par travée (photo 11). Les plus longs câbles reliant les deux travées principales mesurant jusqu'à 250 m, des dispositifs spécifiques ont été nécessaires pour les opérations d'enfilage des torons et la réalisation de la protection définitive des câbles.



**Figure 6**  
**Ancrages SB**  
**SB anchoring**

**CONCLUSION**

C'est grâce à la bonne coordination entre la maîtrise d'ouvrage, le maître d'œuvre et le groupement, ainsi qu'au professionnalisme et à la souplesse des équipes de toutes les entreprises intervenantes que le délai de 26 mois initialement prévu a pu être tenu avec le niveau de qualité requis au CCTP.



**Photo 11**  
**Précontrainte**  
**extérieure 27T15**  
**External**  
**prestressing 27T15**

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maitre d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France (ASF) :  
- Direction de la Construction  
- Direction opérationnelle A89 de Tulle

### Maitre d'œuvre

Setec TPI

### Concepteur

Ingerop

### Architecte

Cabinet Charles Lavigne

### Groupement d'entreprises titulaire

- Spie Batignolles TP (mandataire)
- Spie Citra Sud-Est
- Nord France TP

### Sous-traitants et fournisseurs

#### Etudes :

- Etudes d'exécution : groupement Spie Batignolles (mandataire)/Serf
- Etudes géotechniques : Fondasol/CFEG/Géologie et Travaux
- Contrôle externe : Serf
- Contrôle extérieur : Ingerop
- Contrôle des bétons : Sigma Béton
- Pistes et terrassements : SMTV (Le Puy - 43)
- Fondations profondes : Seco DG
- Armatures passives : SAMT (Marseille)
- Armatures actives : Spie Précontrainte
- Bétons : B.D.L.
- Coffrage des piles : Arcomat (08)
- Coffrage des VSP : Ercan (Paris)
- Equipages mobiles : Semi/Serimetal/Metalform
- Etanchéité : Cotra/Viafrance
- BN4 et corniches : Sler
- Joints de chaussée : Cipec
- Chaussées : Grands Travaux Beugnet
- DBA : Star (Wasquehal - 59)
- Serrurerie : Pierre Emain (Nantua - 01)
- Protection des longrines : Xerotec (Lyon)
- Eclairage - Chemins de câbles : Spie Trindel

## ABSTRACT

### The Clidane viaduct

*J.-M. Jaeger, N. El-Khoury, J.-P. Ragaru, Ch. Lavigne, A. Montois, E. de Bélizal, J.-J. Lagane, Ch. Bienbeau*

**For motorway operator ASF (Autoroutes du Sud de la France), the Clidane viaduct constitutes one of the major structures on the A89 motorway.**

**It is designed as a single box structure in prestressed concrete 540 m long and 19.56 m wide with six spans, including one of 132 m.**

**Built in 26 months using the method of arch segments with successive cantilevering, this project had to cope with difficult execution conditions in a protected natural environment.**

## RESUMEN ESPAÑOL

### El viaducto del Clidane

*J.-M. Jaeger, N. El-Khoury, J.-P. Ragaru, Ch. Lavigne, A. Montois, E. de Bélizal, J.-J. Lagane y Ch. Bienbeau*

**El viaducto de Clidane constituye, para la Société des Autoroutes du Sud de la France (Sociedad de las Autopistas del Sur de Francia), una de las principales estructuras de la autopista A89.**

**Se trata de un viaducto del tipo mono-cajón de hormigón pretensado de 540 m de longitud y 19,56 m de anchura, que consta de seis tramos uno de los cuales mide 132 m.**

**Ejecutado en 26 meses según el método de las dovelas en voladizo sucesivo estas obras han tenido que hacer frente a condiciones difíciles de construcción, en un entorno natural protegido.**



# ASF innove avec la première entièrement automatique

Le réseau autoroutier interurbain qui reste à construire en France concerne essentiellement des autoroutes d'aménagement du territoire à trafic modéré et pour la plupart concédées. Directives européennes obligent, l'attribution des nouvelles concessions autoroutières est aujourd'hui soumise à concurrence.

Il est donc nécessaire, dans le respect des déclarations d'utilité publique et des cahiers des charges, de maîtriser davantage les coûts de construction et d'exploitation tout en assurant la pérennité des ouvrages, la qualité du service et une sécurité maximum.

L'automatisation de l'activité péage permet de réduire les coûts de transactions, en particulier pour les petites gares sur échangeur à faible trafic (inférieur en moyenne à 1 000 véhicules/jour) qui doivent cependant fonctionner 24 heures sur 24 toute l'année.

Zoom sur la première gare de péage entièrement automatique à Ussel est (A89 - Bordeaux/Clermont-Ferrand), une exclusivité Autoroutes du Sud de la France (ASF).

## LES DÉFIS DE L'AUTOMATISATION

Pour les ingénieurs d'ASF et de la société GEA, l'idée était donc de concevoir une gare avec une ou plusieurs voies automatiques acceptant toutes les catégories de véhicules y compris avec attelage et ce, quelle que soit leur hauteur ou leur longueur, en conformité avec le Code de la Route, le montant de la transaction étant calculé en fonction de la catégorie du véhicule selon la classification actuelle et acquitté sans intervention de personnel.

Ce concept de voie automatique basé sur des techniques de communication très élaborées nécessite de regrouper tous les automates sur la même voie et de prédéterminer les classes de véhicules. En doublant le nombre de voies automatiques en sortie pour s'affranchir des problèmes de panne ou de maintenance des équipements, on arrive ainsi à une gare fonctionnant en tout automatique, sachant qu'en entrée, en système fermé, le ticket de passage est délivré automatiquement.

## LES FONDAMENTAUX

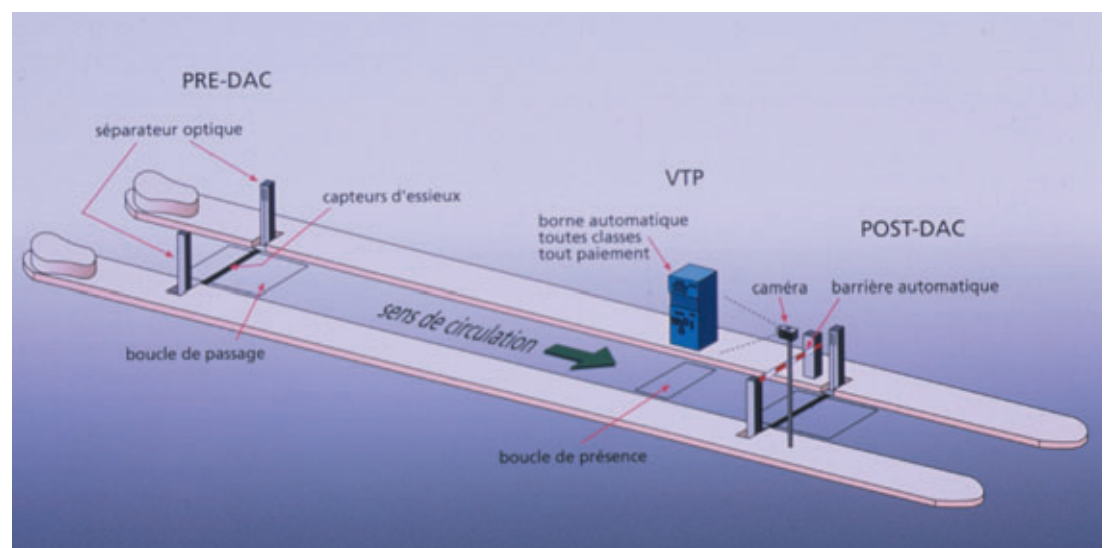
Il est nécessaire d'utiliser un dispositif de supervision en temps réel, un ou plusieurs couloirs de péage permettant à l'exploitant installé à distance de pouvoir prendre la main instantanément sur l'ensemble des fonctionnalités de l'équipement automatique : visualisation du site distant et de ce qui est "vu" par la machine, possibilité de télécommander toutes les actions qui pourraient être ef-

fectuées sur place (y compris transaction réalisée à distance), communiquer avec l'utilisateur via l'interphonie et la vidéosurveillance pour l'aider et le guider à acquitter le péage.

Il faut également se doter d'un équipement d'enregistrement des événements liés à la transaction péage qui permette de retrouver instantanément, à partir de critères simples ou combinés, toutes les informations nécessaires à la reconstitution des données qui ont permis d'établir le montant du péage et sa perception. Il sert en particulier à confirmer ou infirmer les déclassements réglementaires effectués soit par la machine sur des critères physiques, soit par l'exploitant à distance au moment de la transaction. Organisé autour d'une base de données puissante, cet équipement doit pouvoir mémoriser l'image numérisée du véhicule au moment de la perception du péage et la restituer sur l'écran de contrôle en temps différé en complément des informations numériques liées à la transaction. Il doit également permettre une analyse statistique complète du trafic traitée sur plusieurs mois ou années, sachant que la législation française n'autorise la conservation des images que pendant un mois.

Enfin, il faut disposer d'un équipement de péage répondant à plusieurs contraintes : une ergonomie permettant à l'utilisateur de comprendre la procédure à suivre ; une fiabilité de fonctionnement des systèmes de classification automatique et des périphériques qui gèrent la perception (lecteurs de cartes magnétiques, lecteurs de billets de banque, monnayeurs avec rendu de monnaie, télépéage).

Figure 1  
Anatomie du système de détermination anatomique de classes  
The anatomical class determination system



# gare de péage

**Jean-Pierre Roth**  
DIRECTEUR DE LA MAÎTRISE  
D'OUVRAGE  
Autoroutes du Sud de la France (ASF)

**Jean-Marc Phéby**  
DIRECTEUR RÉGIONAL  
D'EXPLOITATION DE BRIVE  
Autoroutes du Sud de la France (ASF)

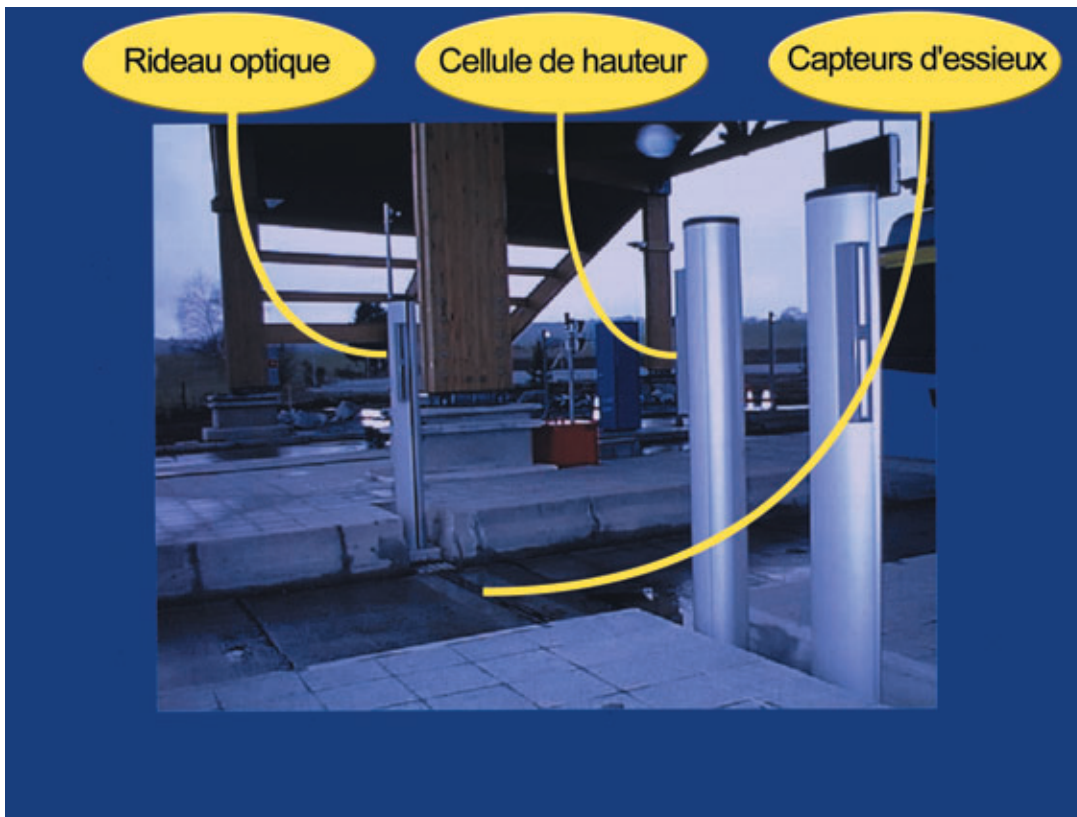


Photo 1

La PREDAC se compose d'une boucle de passage de détection de classe; de capteurs d'essieux; d'une cellule de hauteur réglée à 1,30 m par rapport au sol pour mesurer la hauteur du véhicule au droit du premier essieu; d'un rideau optique permettant de déterminer si le véhicule est attelé ou non; d'une cellule de hauteur réglée à 1,60 m pour mesurer la hauteur du véhicule au droit du troisième essieu

*The PREDAC is composed of a class detection loop; axle sensors; a cell with a variable height set at 1.30 m in relation to the ground to measure the height of the vehicle at the location of the first axle; an optical curtain determining whether the vehicle is hitched or not; a cell with a height set at 1.60 m to measure the height of the vehicle at the location of the third axle*

## ■ LA DÉTERMINATION AUTOMATIQUE DE CLASSES

Elle est constituée d'un système de prédétermination automatique de classes nommé PREDAC installé au début du couloir de sortie et d'un système de post détermination automatique de classes nommé POST DAC implanté au droit de la barrière de sortie (figure 1 et photo 1).

Avant d'installer ce type de PREDAC, le matériel avait été installé et testé pendant un an en tant que prototype sur une barrière en pleine voie en système ouvert sur un îlot classique, ce qui a permis de détecter l'origine des sources d'erreurs et de dysfonctionnement et d'y apporter toutes les corrections nécessaires. Au bout d'un an, sur 112000 passages, le taux d'erreurs moyen constaté pour classer les véhicules selon les règles françaises actuelles a été de 1,78 % sachant que le cahier des charges imposé au constructeur était de 3 % – ces erreurs étant principalement imputables à des véhicules de type monospace surchargés dont la hauteur au droit de l'essieu avant est à la limite du seuil de 1,30 m, et à des remorques très légères qui en rebondissant étaient considérées comme des doubles essieux.

Les mises au point apportées sur ce système de détermination automatique de classes permettent aujourd'hui de tabler sur un taux moyen d'erreurs maximum de 1 %.

C'est donc au vu de ces résultats qu'il a été décidé de développer le système et de concevoir une gare de péage entièrement automatique avec ce type d'équipement en système fermé sur échangeur à faible trafic. Sachant que le trafic moyen journalier prévisionnel en sortie de l'échangeur de la gare d'Ussel est estimé à 330 véhicules/jour en avril 2000 et devrait atteindre 750 véhicules/jour à l'horizon 2010.

## ■ LA BORNE D'ACQUITTEMENT "TOUT PAIEMENT"

A l'occasion de cette expérimentation, ASF a fait développer une nouvelle génération d'automates pour toutes les classes de véhicules (du véhicule léger classe 1 au poids lourd classe 4) et pour des moyens de paiement multiples.

La borne installée sur la gare entièrement automatique d'Ussel est acceptée les cartes magnétiques (cartes bancaires, accréditatives, cartes

Photos 2 et 3

Cette nouvelle borne d'acquiescement dispose de deux niveaux (poids lourds et véhicules légers). Chaque niveau comprend un lecteur de titres de transit magnétiques; un lecteur de cartes magnétiques pour les moyens de paiement monétiques; trois flèches clignotantes pour positionner le client dans la séquence de la transaction; un afficheur éclairé destiné à aider le client dans sa transaction; un distributeur de reçus thermiques; un interphone qui permet la relation avec un opérateur ASF. Le niveau inférieur (VL) est doté en outre d'un lecteur de billets de banque, d'un "accepteur de monnaie"

*This new payment terminal has two levels (lorries and cars). Each level includes a magnetic transit ticket reader; a magnetic card reader for card payments, three flashing arrows to position the client in the transaction sequence; a lit display designed to help the client with the transaction; a thermal receipt distributor; an intercom for communication with an ASF operator. The lower level (lorries) is moreover equipped with a banknote reader and a "coin acceptor"*



Photo 4  
Le serveur de supervision  
The supervision server

N°	Vo.	Pl.	Intr.	Sec.	DM4	Stat.	DE	VE	DM4	Entrée	Ticket	Cl	St	Cd	Pls	MP	N°Tx	In	T	MP	S	A	N° carte	Subscarte	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0	0	0	0	31503141248000032	
27	006	01	00000A	4620	06/04/2000	05:15	33	06/04/2000	05:00	10001	4	120	4	26.0	MPM	2	5	0	0	0</					



située immédiatement après la barrière levante (équipement identique à la PREDAC : séparateur optique avec détection des hauteurs-captures-boucles permettant de gérer le sas de péage et de vérifier le bon fonctionnement du système en entrée de couloir PREDAC).

L'exploitant dispose du même écran d'exploitation lorsqu'il intervient localement depuis la borne (un clavier spécifique et un écran associé permettent d'accéder à toutes les commandes d'exploitation) ou à distance. L'équipement est raccordé au réseau informatique péage par une liaison à fibre optique. Ce réseau est de type Ethernet.

L'exploitation automatique du couloir est supervisée à distance à l'aide d'un ou plusieurs postes opérateurs gérés par un serveur de supervision. L'opérateur dispose de toutes les fonctions évoluées de gestion du péage (comptages, recettes, paramétrages des accès, statistiques, etc.).

Ce serveur de supervision intègre également le module de gestion des images enregistrées. Ce module permet de visualiser instantanément, à partir des critères de recherche multiples, toutes les informations et données relatives à une transaction, en particulier les données péage et l'image du véhicule au moment du paiement. Ce serveur permet aussi à l'opérateur, en temps réel, d'accéder aux informations pour suivre, valider ou modifier une transaction. Il permet au service chargé du contrôle de rectifier *a posteriori* (le lendemain) un surclassement défavorable à l'usager avant la transmission des informations pour la facturation. Cette supervision est développée sur Windows NT et permet une convivialité très intéressante pour les différents responsables de l'activité péage (photo 4).

## ■ LE DISTRIBUTEUR DE CARTES À PRÉPAIEMENT

ASF a la volonté de développer l'utilisation des moyens monétiques sur l'ensemble de son réseau et particulièrement sur les gares de péage à faible trafic, aussi bien par souci d'économies que pour simplifier l'exploitation et la maintenance de ces équipements de perception de péage. En effet, la maintenance des monnayeurs, l'utilisation des lecteurs de billets et l'exploitation de ces matériels pour des tarifs élevés, notamment avec le passage à l'euro (longs parcours pouvant atteindre plusieurs centaines de kilomètres) poseront inévitablement des problèmes, sans compter les coûts de traitement de l'ensemble des espèces (conditionnement, ramassage...) qui ne militent pas pour un développement à terme des monnayeurs et lecteurs de billets sur les autoroutes de liaison. Le passage à l'euro pourrait constituer par ailleurs un contexte propice au développement du portemonnaie électronique.



Photo 5

La borne ASF Plus comprend un lecteur de billets de banque, un distributeur de cartes magnétiques, un distributeur de reçus thermiques, trois flèches clignotantes pour positionner le client dans la séquence de la transaction, un afficheur éclairé destiné à aider le client dans sa transaction, un synthétiseur vocal indiquant au client où s'effectue le paiement, un interphone qui permet d'être en relation avec l'opérateur ASF

*The ASF Plus terminal includes a banknote reader, a magnetic card distributor, a thermal receipt distributor, three flashing arrows positioning the client in the transaction sequence, a lit display designed to help the client with the transaction, a voice synthesiser indicating where the payment is to be made, an intercom for communication with the ASF operator*

Aussi, à l'occasion de la création de cette gare entièrement automatique, ASF a-t-elle décidé d'expérimenter également un nouveau produit commercial pour favoriser l'utilisation de la monétique : la carte à prépaiement ASF Plus. Fonctionnant selon le même principe qu'une carte téléphonique à décompte, ASF Plus est distribuée directement sur les couloirs de péage juste à l'amont des bornes d'acquiescement présentées précédemment. En effet, le faible trafic de ce type d'échangeur permet une telle distribution même si cette dernière augmente le temps global de présence dans le couloir (achat de la carte dans le distributeur + transaction à la borne d'acquiescement). Ce distributeur permet au client démunie de carte bancaire d'acheter une carte à prépaiement ASF Plus en échange d'un billet de banque (photo 5).

La mise en exploitation de ce distributeur se fait localement ou à distance dans les mêmes conditions que pour la borne d'acquiescement et suivant le même réseau Ethernet.

Les billets acceptés sont ceux de 50, 100 et 200 F. La valeur prédéfinie en fonction de la valeur du billet accepté après analyse (détection de faux billets), est encodée sur la piste ISO3 dans le lecteur-encodeur magnétique du distributeur. Avant délivrance au client, les deux pistes ISO2 et ISO3 sont relues et vérifiées. L'automate peut délivrer un reçu à la demande du client.

Lors de l'utilisation de la carte ASF Plus comme moyen de paiement, le reçu délivré sur la borne d'acquiescement fait apparaître le solde disponible sur la carte.

L'objectif de la carte ASF Plus est de proposer à de nombreuses catégories de clients un produit qui facilite le passage et le paiement. Des remises pouvant atteindre 10 % pour la carte à 200 F (5 % pour la carte à 100 F) sont accordées. Ainsi, les économies et les avances de trésorerie générées par l'automatisation permettent à ASF de mener une politique commerciale.

On peut d'ores et déjà dresser un bilan provisoire de ce nouveau concept de gare de péage. D'une part, le système de prédétermination automatique de classe (PREDAC) a démontré sa fiabilité pendant près d'un an dans sa phase expérimentale sur le site de Gignac (autoroute A20), avec un taux

d'erreurs moyen de 1,78 pour mille. Sur les gares de l'autoroute A89, ce taux moyen d'erreurs devrait logiquement baisser pour se situer au-dessous de 1 pour mille.

Concernant les bornes d'acquiescement et les distributeurs de cartes à prépaiement, il est difficile de tirer des conclusions après seulement quelques semaines d'exploitation de la gare d'Ussel est. La mise en œuvre de tels automates passe forcément par une phase d'apprentissage du client. On peut toutefois constater, qu'après 15 000 transactions dans les couloirs automatiques de la gare d'Ussel, la clientèle ne rencontre pas de problème majeur quant à l'utilisation des équipements automatiques. Néanmoins, des améliorations ont été apportées en terme de signalétique et de messages vocaux pour faciliter la compréhension et l'utilisation de ces automates par la clientèle non habituée. Afin d'améliorer le service offert, ASF étudie les modalités permettant le rechargement de la carte dans de bonnes conditions de sécurité.

### ABSTRACT

#### Motorway operator ASF innovates with first fully automatic toll plaza

*J.-P. Roth, J.-M. Phéby*

The inter-city motorway network which remains to be built in France involves essentially some regional development motorways handling moderate traffic and in most cases operated by concessions. Because of European directives, the granting of new motorway concessions is today open to competition.

In compliance with the public utility notifications and specifications, it is thus necessary to have greater control over construction and operating costs, while ensuring the durability of structures, service quality and maximum safety.

The automation of toll operations makes it possible to reduce the cost of transactions, in particular for small toll stations on interchanges handling light traffic (less than 1,000 vehicles/day on average) which must nevertheless operate 24 hours a day throughout the year. The article offers a close look at the fully automatic toll plaza of Ussel Est (A89 motorway between Bordeaux and Clermont-Ferrand), an exclusive ASF feature.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### ASF innova con la primera estación de peaje totalmente automática

*J.-P. Roth y J.-M. Phéby*

La red de autopistas interurbanas que aún queda por construir en Francia corresponde principalmente a las autopistas de ordenación del territorio, de tráfico moderado y, en su mayor parte, en régimen de concesión. Directivas europeas obligan..., la atribución de las nuevas concesiones de autopistas se encuentra sometida actualmente a la competencia. Por consiguiente, es preciso, para atenerse a las declaraciones de utilidad pública y de los pliegos de condiciones, dominar cada vez más los costes de construcción y de operación, al mismo tiempo que se garantiza la perennidad de las estructuras, la calidad del servicio prestado y una seguridad máxima.

La automatización de la actividad del peaje permite reducir los costes de

transacciones, y fundamentalmente, para las pequeñas estaciones de peaje en enlaces de bajo tráfico rodado (en promedio, inferior a 1 000 vehículos por día), pero que, no obstante, deben funcionar durante 24 horas diarias y en todo el año.

Vista integral de la primera estación de peaje totalmente automática de Ussel Este (autopista A89 - Burdeos/Clermont Ferrand), una exclusiva de Autoroutes du Sud de la France (ASF) (Sociedad de Autopistas del Sur de Francia).

# formation

## La formation aux métiers des Travaux Publics L'appel aux jeunes

**Après de longues années de crise, le secteur des travaux publics connaît enfin une embellie mais, avec la reprise, apparaît la pénurie de main d'œuvre : 44 % des entreprises ne peuvent pas augmenter leur activité faute de personnels qualifiés en nombre suffisant.**

**A ce phénomène, s'ajoute le vieillissement de la population salariée; l'âge moyen dans les travaux publics est désormais de 40,7 ans.**

**D'où l'impérieuse nécessité de recruter un plus grand nombre de jeunes qu'il faut, au préalable, qualifier.**

**C'est le défi qu'a relevé la FNTP en lançant, en mars dernier, une campagne de communication en direction des jeunes "La formation aux métiers des travaux publics, ça bouge, ça te change", opération qui s'inscrit dans le cadre d'une politique globale de développement de la formation des jeunes dans notre profession.**

**F**ormer les jeunes ouvriers dont les entreprises de travaux publics ont besoin est un enjeu essentiel pour notre profession. Aussi la FNTP a-t-elle pris le problème à bras le corps. Pour ce faire, elle s'est fixée cinq objectifs :

- ◆ développer l'offre de formation ;
- ◆ promouvoir les métiers des travaux publics ;
- ◆ adapter les qualifications ;
- ◆ mettre en place des partenariats avec les établissements d'enseignement ;
- ◆ dégager les moyens nécessaires au financement des formations.

### ■ DÉVELOPPER L'OFFRE DE FORMATION AUX DIVERSES SPÉCIALITÉS DES TRAVAUX PUBLICS

Les futurs ouvriers des travaux publics sont formés dans des lycées professionnels ou des centres de formation d'apprentis et, bien sûr, à l'École d'Application aux métiers des Travaux Publics (EATP) d'Egletons, école gérée directement par notre profession.

Au total, 2 300 jeunes sortent de ces établissements chaque année, munis d'un CAP ou d'un BAC professionnel, ce qui est très inférieur au flux d'embauche de jeunes ouvriers dans les travaux publics (4 400 jeunes ouvriers ont été recrutés en 1999).

Il est donc nécessaire d'augmenter les effectifs de jeunes en formation et de répartir les nouvelles sections de façon harmonieuse sur l'ensemble du territoire national de façon à ce que les filières soient accessibles à des jeunes de 16-18 ans qui ont besoin de formations relativement proches de leur domicile.

Depuis plusieurs mois, les FRTP ont entrepris, avec les partenaires sociaux, un travail d'analyse des besoins en qualification des entreprises



de travaux publics et de l'offre de formation existant dans leur région ; ces travaux déboucheront sur des démarches auprès des conseils régionaux pour que soient créées, à chaque fois que cela sera nécessaire, de nouvelles sections préparant aux spécialités des travaux publics dans les lycées professionnels ou les centres de formation d'apprentis (CFA).

L'apprentissage, qui était jusqu'à présent peu développé dans le secteur des travaux publics, est désormais de plus en plus apprécié par nos entreprises qui trouvent dans ce mode de formation le moyen de transmettre aux jeunes leur savoir-faire professionnel.

Des centres de formation d'apprentis TP ont été créés à l'initiative des FRTP. C'est le cas en Rhône-Alpes, en Lorraine, en Bourgogne, en Provence-Alpes-Côte d'Azur, en Île-de-France, en Normandie. Des projets de création de CFA sont à l'étude, en Bretagne, en Champagne-Ardenne, en Franche-Comté.

Au total, 28 sections supplémentaires ont été ouvertes à la rentrée 2000 pour préparer aux CAP et au Bac Pro TP des élèves de lycées professionnels ou des apprentis.





## ■ PROMOUVOIR LES MÉTIERS DES TRAVAUX PUBLICS

Il ne suffit pas de créer des filières de formation, encore faut-il qu'un plus grand nombre de jeunes soient désireux d'intégrer notre profession.

Il fallait donc faire découvrir aux jeunes, aux enseignants des collèges, aux conseillers d'orientation la diversité de nos métiers. C'est la raison pour laquelle la FNTP a engagé, en mars dernier, une vaste campagne de communication. Un spot a été diffusé 78 fois sur les différentes chaînes de télévision; des centaines de jeunes ont participé à des visites de chantiers organisées par les entreprises de travaux publics avec l'appui des FRTP.

Six mille professeurs de collèges et conseillers d'orientation se sont manifestés auprès de la FNTP qui leur a adressé une documentation sur nos métiers de façon à ce qu'ils la diffusent auprès de leurs élèves.

Pour être efficace, l'action de communication de la profession doit s'inscrire dans la durée; c'est ainsi qu'une convention de coopération sera signée prochainement entre le ministère de l'Education nationale et la FNTP. Cette convention sera déclinée dans chaque région de façon à amplifier et à donner un caractère permanent aux actions d'information des élèves, des collèges et des lycées sur les métiers des travaux publics.

## ■ ADAPTER LES QUALIFICATIONS

La profession a mis en place progressivement avec le ministère de l'Education nationale un large éventail de diplômes spécifiques au secteur des travaux publics, qu'il s'agisse des CAP, du Bac Pro TP et du BTS TP. Afin de garantir l'adaptation de ces diplômes à l'évolution des techniques, une concertation a été engagée au cours de l'année 2000 avec ce ministère de façon à actualiser les référentiels de ces diplômes.

Par ailleurs, dans certaines spécialités des travaux publics où il n'existe pas de CAP, des certificats de qualification professionnels ont été créés de façon à valider les compétences des salariés acquises par l'expérience professionnelle. Enfin, un accord de branche signé le 21 mars

2000 avec les syndicats de salariés a prévu la création d'un dispositif de certificats de maîtrise professionnelle dont l'objectif est de fidéliser les jeunes salariés des travaux publics dans notre branche en reconnaissant le haut niveau de qualification des meilleurs d'entre eux.

## ■ RENFORCER LES PARTENARIATS AVEC LES ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT DES TRAVAUX PUBLICS

Si l'EATP et les centres de formation d'apprentis créés à l'initiative des FRTP sont structurellement liés à la profession qui est gestionnaire de ces établissements, en revanche, les lycées professionnels relèvent du ministère de l'Edu-



cation nationale. La profession doit donc veiller à entretenir avec ceux-ci des liens étroits de façon à s'assurer de la qualité de la formation dispensée et de son adaptation à l'évolution des techniques.

Aussi, la FNTP organise-t-elle régulièrement des rencontres avec les chefs d'établissement préparant au Bac Pro TP; il en ira de même, à l'avenir, avec les proviseurs de lycées préparant aux différents CAP et au BTS TP. Elle entretient également des contacts fréquents avec les chefs de départements d'IUT génie civil; elle est présente dans les diverses instances des écoles d'ingénieurs de notre secteur.

La convention générale de coopération qui sera conclue entre le ministère de l'Education nationale et la FNTP permettra de multiplier les partenariats dans toutes les régions, notamment pour l'accueil d'élèves en période de formation en entreprise, l'organisation de stages en en-

treprises pour les enseignants et le recrutement de professeurs associés.

## ■ DÉGAGER LES MOYENS NÉCESSAIRES AU FINANCEMENT DES FORMATIONS

Implanter des formations préparant aux principales spécialités des travaux publics (conduite d'engins, construction et entretien des routes, canalisation, ouvrages d'art, etc.) sur l'ensemble du territoire national est un objectif ambitieux.

Pour l'atteindre, la profession doit cependant mobiliser les moyens financiers dont elle dispose, c'est-à-dire la taxe d'apprentissage que versent les entreprises de travaux publics. Certaines FRTP (celles qui ont créé des CFA) et certains syndicats de spécialité assurent d'ores et déjà une collecte de la taxe d'apprentissage.

Les entreprises de travaux publics adhérentes de ces fédérations ou syndicats sont invitées à soutenir leur effort pour la formation des futurs ouvriers des travaux publics en leur versant leur taxe d'apprentissage. En complément de ces dispositifs de collecte spécifiques à certaines régions et à certaines spécialités, la profession a demandé l'agrément d'un organisme collecteur national de taxe d'apprentissage. Il s'agit de l'Association pour le développement de la formation initiale dans les travaux publics (ADEFI-TP) qui appellera la taxe d'apprentissage, à titre facultatif, via Pro BTP à compter de la prochaine collecte qui aura lieu en février 2001. En versant leur taxe d'apprentissage à cet organisme, les entreprises de travaux publics auront la certitude que leur contribution sera utilisée pour favoriser le développement des formations dont elles ont besoin.

## ■ CONCLUSION

Toutes ces initiatives de la FNTP s'inscrivent dans le cadre d'une politique globale de la profession pour intégrer dans les travaux publics une nouvelle génération d'ouvriers à la fois qualifiés et jeunes. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire que toutes les entreprises de travaux publics participent activement aux actions qui seront menées par leur FRTP, en proposant aux jeunes des visites de chantiers, en offrant des places d'apprentissage ou des contrats d'insertion en alternance, en accueillant des élèves de lycées dans le cadre de périodes de formation en entreprise, en nouant des partenariats avec les lycées professionnels. L'appel de la profession aux jeunes est aussi un appel aux entrepreneurs de travaux publics.

## Le béton autoplaçant : le matériau qui bouleverse les chantiers

**C**onnus au Japon depuis les années quatre-vingt et apparus en Europe depuis la fin des années quatre-vingt-dix, les bétons autoplaçants ont déjà été employés en France sur une centaine de chantiers de bâtiment et de génie civil. Les connaissances actuelles sur ces bétons, leurs formulations et leurs propriétés, quel que soit le niveau de résistance demandé (de 25 à 80 MPa), sont d'ores et déjà suffisantes pour les mettre en œuvre.

Comme ce fut le cas pour beaucoup de développements techniques, la mise au point de ce matériau tient pour une grande part aux travaux et études sur un autre matériau grâce auquel on a pu mettre en évidence des comportements inédits et prometteurs : les bétons à hautes performances (BHP). La réduction de l'eau dans ces formulations pour ouvrages d'art ou tours de grande hauteur, associée à l'emploi d'adjuvants fluidifiants et l'introduction de fines d'une granulométrie inférieure à 80 µm, en plus des sables et granulats, a amélioré la rhéologie et l'ouvrabilité de ces bétons. Le transfert de technologie vers des bétons à niveau de résistance satisfaisant mais ne nécessitant pas de vibration a très vite suscité l'intérêt.

Fin 1998, la FNTP, représentée par sa sous-commission "Béton", à laquelle s'est associée la FFB, s'est assurée que rien, dans la réglementation actuelle, ne s'opposait à la réalisation de béton autoplaçant; en 1999, elle a sélectionné différents thèmes et engagé une première approche technique avec :

- ◆ l'unité de "Recherche génie civil" de l'INSA de Lyon sur les performances mécaniques des BAP et sur l'adhérence acier-béton;
- ◆ le laboratoire "Matériaux et durabilité des constructions" de l'INSA de Toulouse sur la caractérisation à frais et sur le comportement différé des BAP;
- ◆ le LERM (Arles) sur l'étude des BAP type B 35 et B 80;

◆ le CEBTP sur l'influence des conditions de fabrication.

De nombreux domaines restent encore à explorer pour apprécier ce matériau sous divers aspects : techniques (recommandations pratiques d'emploi, nouvelles méthodes de travail...), mais aussi réglementaires (quelles incidences sur le calcul des ouvrages?) et sociaux (simplification de tâches, sécurité, réduction des nuisances sonores, cadences de coulées...). Ils feront l'objet d'un programme de travaux scientifiques dans le cadre du Projet national "Bétons autoplaçants" conduit depuis cette année. La profession poursuit son engagement pour mieux comprendre ce matériau qui, en raison de sa souplesse et de ses propriétés, modifie profondément les chantiers.

### ■ BÉTON AUTOPLAÇANT : UN MATÉRIAU FLUIDE À L'ÉTAT FRAIS

Décoffrés, les bétons autoplaçants ont la même apparence que les bétons traditionnels. Leurs différences : leur fluidité à l'état frais qui assure leur mise en œuvre sans vibration ; leur compaction s'effectue par le seul effet gravitaire.

Les tests au cône d'Abrams montrent un étalement de 70 à 75 cm, sans amas de granulats au centre de la galette, ni auréole de laitance en périphérie, ce qui traduit une absence de ségrégation. Concrètement, les BAP doivent montrer une double résistance à la ségrégation : dynamique, ce qui assure l'écoulement du matériau dans les zones confinées des coffrages, et statique, pour garantir des propriétés mécaniques homogènes. Par conséquent, les BAP se caractérisent aussi par un faible ressuage (le ressuage étant l'indice d'une hétérogénéité du béton frais).

Ces caractéristiques des bétons autoplaçants

► confèrent généralement aux parements une finition de haute qualité, avec notamment un faible bullage, voire une absence de ce type d'imperfections. Une exigence exprimée par de nombreux architectes.

## ■ LES BAP : UN MATÉRIAU POLYVALENT

Le béton autoplaçant constitue réellement un béton de substitution. Il est utilisable dans tous les ouvrages verticaux et horizontaux de bâtiment ou de génie civil. Ses domaines de prédilection sont les ouvrages très fortement ferrailés où il est nécessaire de s'assurer d'un enrobage parfait des armatures. Il résout avec simplicité les problèmes de coffrage de formes complexes. Et outre l'expression architecturale, il permet de résoudre des problèmes courants de productivité sur chantier comme la réalisation de voiles très largement percés d'ouvertures.

## ■ SÉMANTIQUE : BAN, BAP...

Comment appeler ces nouvelles générations de bétons ? Depuis leur apparition sur le marché, plusieurs acronymes se disputent leur appellation. Dans les années quatre-vingt, les pionniers japonais leur ont attribué le nom de Super Workable Concrete (SWC), littéralement "béton super-ouvrable". Fins observateurs, les Canadiens ont opté pour le BAN, béton auto-nivelant. Dans la grande majorité, les professionnels du béton en France partagent le terme BAP, béton autoplaçant. Une notion qui exprime sa fluidité et qui recouvre tous les usages, en dalles, en chapes ou en voile.

## ■ FORMULATION : DES RÈGLES À RESPECTER ET À VÉRIFIER

Béton fluide – ou fluidifié – par apport d'eau, ne signifie pas béton autoplaçant. Les bétons liquides montrent des chutes de résistance et une faible durabilité. Les BAP affichent quant à eux une durabilité et une résistance au moins égales à celles des bétons traditionnels. Voici quelques règles de composition d'un BAP :

- ◆ un rapport eau sur ciment faible. Il est en moyenne de 0,45, avec des variations de 0,60 pour un B35 à 0,40 pour un B80;
- ◆ un volume de pâte important. Ciment et du filler calcaire totalisent environ 500 kg/m<sup>3</sup>. Ce qui, avec 175 l d'eau forme une pâte qui permet d'écarter les granulats les uns des autres;
- ◆ un volume total de granulats de 57 à 67 % du volume du béton, avec un rapport granulats/sables

(en poids) égal à 1, et, toujours pour améliorer l'écoulement, un diamètre maximal de granulats (Dmax) de 16 mm;

◆ le recours aux adjuvants. Les superplastifiants sont employés à raison de 3 à 10 kg d'extrait sec par mètre cube de béton, et les agents de viscosité, à raison de 2 à 8 kg/m<sup>3</sup>. Ces adjuvants, développés pour les BAP, ont un pouvoir fluidifiant et viscosifiant ; ils sont dosés couramment autour de 7 kg/m<sup>3</sup>.

## ■ DES AVANTAGES... ET DES PRÉCAUTIONS DE MISE EN ŒUVRE

Les bétons autoplaçants se comportent-ils réellement comme des bétons traditionnels ? Les recherches menées sur ce matériau montrent des comportements singuliers à ne pas ignorer.

Les études récentes de l'unité de recherche génie civil de l'INSA de Lyon le mettent en évidence : la montée en résistance d'un béton B35 est très rapide.

Les éprouvettes atteignent 40 MPa à 7 jours, et 48 MPa à 28 jours. En outre, elles affichent un module d'élasticité qui apparente leur déformabilité à celle des bétons de sable. Les études menées au LERM confirment la compacité des bétons durcis et leur faible perméabilité à l'eau. Un gage de durabilité.

La fluidité de ce matériau et sa rapide montée en résistance à jeune âge impose cependant des précautions sur chantier pour effectuer des reprises de bétonnage dans de bonnes conditions. Pratiquement, il ne faut pas dépasser une heure entre deux gâchées. Passé ce délai, l'interface entre les deux phases est pratiquement linéaire, et nécessite donc de traiter les reprises avec des aciers de couture.

Autre précaution : la phase de cure. Les bétons autoplaçants sont sensibles au retrait par dessiccation. Les travaux du Projet national BAP vont se pencher sur ce sujet, mais il semble indispensable d'avoir recours à une cure pour ces bétons.

## ■ SUR LE CHANTIER, COMMENT OPÉRER ?

L'emploi d'un BAP modifie quelque peu le déroulement d'un chantier. La fluidité conduit les responsables de travaux à soigner l'étanchéité des coffrages, à coffrer totalement les parties en pente... Les réceptions de toupies donnent lieu à un test d'étalement et la mise en place doit éviter de produire la ségrégation du béton par une chute trop élevée : le déversement par goulotte d'une hauteur trop importante est à dé-

conseiller. Alternatives : l'usage d'une manche glissée dans le coffrage pour réduire la hauteur de chute, ou le pompage "en source", c'est-à-dire depuis le bas de la banche.

## ■ PROJET NATIONAL BAP : LEVER LES INCERTITUDES

Après plusieurs années d'expérimentations et de chantiers tests, les professionnels du béton se lancent dans un programme d'études d'une durée de trois ans dans le cadre du Projet national BAP. Les travaux vont notamment porter sur la caractérisation des bétons à l'état frais, lors de la mise en œuvre et à l'état durci.

La FNTP, représentée par sa sous-commission Béton, a décidé de contribuer activement au Projet National en faisant apport en nature des études déjà réalisées et des études en cours.

Les essais à l'état frais porteront par exemple sur la mesure d'étalement du cône DIN, sur la mobilité en milieu confiné d'après le test de la boîte en L, sur la ségrégation par essai de stabilité au tamis, et essai de ressuage par test à l'aéromètre. La mise en œuvre par déversement ou pompage sera testée sur des équipements transparents à la centrale Ciments Français de Guerville. Une autre équipe se chargera de mettre au point une méthode d'échantillonnage des bétons pour caractériser l'état de surface durci.

## ■ BUDGET : UN SURCÔÛT MAÎTRISÉ PAR DES ÉCONOMIES GLOBALES

Le surcoût du mètre cube de béton autoplaçant est évalué de 80 à 150 francs. Un handicap gommé par une gestion différente des chantiers faisant appel à ce matériau. Délais, cadences de bétonnage, optimisation des équipements et des équipes, nouveaux process sur chantiers : le BAP offre la possibilité de réaliser une économie globale évaluée de 2 à 14 %. L'étude détaillée pour chaque chantier est un exercice obligé.

► **Contact :** Henry Thonier, rapporteur de la sous-commission technique "Béton" de la FNTP.

**Fax :** 01 44 43 32 73.



# Label IVOR

## Deux nouveaux labels délivrés par le Comité IVOR en septembre 2000

Dans sa séance du 26 septembre 2000, le Comité IVOR a attribué son label à deux nouvelles "innovations validées sur ouvrages de référence".

### ◆ Le remblai léger PLASTBLOC®.

L'ouvrage de référence est un élargissement en remblai du Lacet du Cudret sur la route départementale 99 à Montaimont (Savoie).

L'innovation porte sur l'utilisation de déchets de matières plastiques propres compressés en blocs pour constituer des remblais légers. Dans le cas de l'ouvrage de référence, le remblai en Plastbloc® est placé derrière un rideau de palplanches. Cette innovation est couverte par un brevet (IUT A de Villeurbanne, société Ingéval, société Trivalor S.A.).

Le principal avantage de l'innovation est la valorisation de déchets en remplacement de matériaux nobles (polystyrène expansé) pour la construction de remblais légers qui diminuent les efforts de poussée sur les ouvrages.

Ce dossier avait été présenté en septembre 1999 au Comité IVOR, qui avait demandé un complément d'instruction.

### ◆ Le revêtement des piédroits d'un tunnel par des coques en CCV.

L'ouvrage de référence correspond à l'extrémité ouest du tunnel de Saint-Cloud (Hauts-de-Seine) situé sur l'autoroute A13 dans le sens Paris-Provence.

Dans le cadre de la charte "Innovation ouvrage d'art" mise en place par le ministère de l'Équipement et la FNTP, la société Betsinor a mis au point des éléments d'habillage et de protection des piédroits du tunnel de type "Coque mince en composite ciment-verre (CCV) revêtue d'un film de résine de méthacrylate".

La pose des coques en CCV n'a nécessité que des moyens de levage légers (chaque élément pèse environ 500 kg) et le système d'accrochage à l'ouvrage actuel permet l'inspection de la structure sous-jacente par simple rotation des coques autour de leur axe.

L'application d'une protection de "résine polymère" (méthacrylate) sur le CCV représente le caractère le plus innovant vis à vis du comportement à long terme des coques (tenue aux gaz d'échappement, aux sels de déverglaçage, aux U.V., réduction du coût de maintenance).

Pour toute information s'adresser à Hervé Thuillier, secrétaire du Comité IVOR :

**METL/DRAST - 92055 Paris La Défense Cedex 04**

**Tél. : 01 40 81 29 47**

**Télécopie : 01 40 81 27 31**

**e-mail : Herve.Thuillier@equipement.gouv.fr**

### IVOR (Innovations Validées sur Ouvrages de Référence)

Créée en 1994, la procédure IVOR a pour but de favoriser le développement et la diffusion des innovations techniques en génie civil. A cet effet, le Comité IVOR, formé de personnalités du génie civil, de compétence et d'impartialité reconnue, et présidé par M. Mercadal, vice-président du Conseil général des Ponts & Chaussées, attribue un label IVOR à chaque innovation jugée intéressante sur la base d'une expertise.

Une appréciation sur l'innovation et un dossier technique de validation sont associés au label et constituent le dossier de référence, mis à disposition des maîtres d'ouvrages publics ou privés. Le label IVOR traduit la reconnaissance de l'intérêt d'une innovation mise en œuvre dans un ouvrage réellement mis en service.

Le label IVOR constitue une référence pour les rapports entre inventeurs et maîtres d'ouvrage, en France mais aussi à l'exportation. En effet, grâce au dossier technique de validation et à l'appréciation du comité sur l'innovation, qui accompagnent le label, l'utilisateur futur dispose d'éléments de jugement indépendants du concepteur de l'ouvrage et de l'inventeur de l'innovation.

Le label IVOR est ainsi un outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage, en leur donnant des informations utiles à l'exercice de leur responsabilité quant à l'acceptation d'une innovation dans un ouvrage à construire.

A l'appui de ces labels sont publiées les "fiches IVOR", qui contiennent les éléments techniques de validation des innovations.

Quatorze labels ont été délivrés précédemment. Les innovations labellisées concernent des ouvrages très différents (un mur de soutènement, une route, une déchetterie, une écluse, des ponts), ou ont été mises en œuvre pour résoudre un problème particulier (traiter une pollution in situ, ou stabiliser un glissement de terrain, ou démonter un pont en béton).

**Tous les types d'innovations (matériaux, procédé, méthode de calcul...) intéressant le génie civil sont concernés par cette labélisation.**

Le secrétariat du Comité IVOR est assuré par la mission génie civil, à la direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques du ministère de l'équipement, des transports et du logement.