

Travaux

n° 757

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

- Historique et contexte
- Un projet qui n'était pas gagné. De l'opposition à l'adoption, du bétonneur à l'aménageur
- Le concept architectural
- Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre
 - A 51 et la coordination de sécurité

LES TRAVAUX

- Le viaduc de La Rivoire
- Les viaducs du Crozet
- Les tunnels d'Uriol et du Petit Brion. Les travaux de génie civil et l'évolution des plans de tir
- L'eau : un enjeu pour l'A 51
- Les terrassements
- Les ouvrages d'art courants
 - La tranchée couverte du Serf
 - Les murs de soutènement
- Atténuer le bruit
 - Les chaussées
 - La centrale de concassage
- Les équipements

ÉCONOMIE

- Les retombées pour l'économie locale

L'autoroute A 51

Daniel Tardy
Président
de la FNTF



Un an après A 43 – l'autoroute de la Maurienne⁽¹⁾ –, c'est au tour d'A 51, l'autoroute Grenoble-Sisteron, de faire l'objet d'un numéro entier de *Travaux*.

Encore ne s'agit-il ici que de la première section d'A 51, de Grenoble à Coynelle, longue de 16 kilomètres, de l'itinéraire de Grenoble-Sisteron.

Car l'autoroute A 51 fait partie des nombreux grands projets d'infrastructures aux mille rebondissements que connaît notre pays depuis quelques années. Inscrite au schéma directeur autoroutier de 1987, avec la double "mission" de constituer un itinéraire Nord-Sud alternatif à l'autoroute de la vallée du Rhône tout en contribuant au développement économique et touristique des régions alpines traversées et concédée à AREA depuis 1990, cette autoroute représente un des plus beaux exemples de la difficulté (de l'incapacité ?) de décider de notre pays en face d'opinions divergentes (passer par Gap ou non ?) et plus encore d'oppositions diverses, le plus souvent écologiques.

On sait les multiples raisons, souvent interactives, qui peuvent intervenir pour justifier le blocage d'un projet. Nos lecteurs les retrouveront dans l'étude publiée dans les "Dossiers économiques" de *TP de France* de septembre 1999⁽²⁾. L'A 51 les a pratiquement toutes connues.

On peut d'ailleurs redouter que les deux récents rapports sur la politique autoroutière, rendus publics en juillet dernier par la Cour des Comptes et de la mission d'évaluation et de contrôle de la Commission des finances de l'Assemblée nationale, ajoutent encore à ces raisons et retardent encore davantage certaines réalisations⁽³⁾. A moins qu'*Autoroutes Avenir*, sous l'impulsion du sénateur Jacques Oudin, ne parvienne à renverser la tendance.

Nos lecteurs ne connaîtront donc, ici, qu'une section de la future autoroute A 51. Mais quelle section ! Tous les thèmes traités dans les numéros mensuels de *Travaux* trouvent sur ces 16 kilomètres, en raison des reliefs et des paysages traversés, l'occasion d'y être illustrés par des réalisations prestigieuses, souvent complexes : terrassements, ponts et viaducs, tunnels, ouvrages hydrauliques... Et bien sûr, l'environnement – dont j'ai le plaisir d'annoncer qu'il sera le thème unique du prochain numéro de *Travaux* –, a été l'objet de tous les soins d'AREA, des maîtres d'œuvre et des entreprises.

Ainsi notre revue peut-elle, grâce à A 51, remplir un de ses objectifs qui est de contribuer au maintien et à la mise à jour des connaissances, dans toutes les spécialités, des ingénieurs et techniciens de nos entreprises, mais aussi de nos maîtres d'ouvrage et de nos maîtres d'œuvre.

* * *

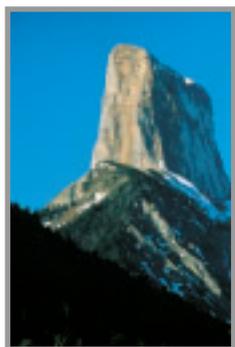
Je souhaite reprendre, en terminant, un point souligné par le président Jean-Marie Perrin lors de l'inauguration de la section Grenoble-Coynelle : **"1 400 emplois directs ont été nécessaires sur le terrain pendant quatre ans pour la construction, sans compter plusieurs milliers d'autres, directs ou indirects, en dehors du chantier. Et le développement économique et touristique de la région, grâce à l'autoroute, sera durable et créera infiniment plus d'emplois. Ceci sans qu'il soit besoin de réduire la durée de travail."**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. Tardy', written in a cursive style.

⁽¹⁾ *Travaux* n° 745 de septembre 1998.

⁽²⁾ "Nature des blocages rencontrés lors de l'élaboration et la réalisation des grands projets d'infrastructures TP".

⁽³⁾ Voir "Dossiers économiques" de *TP de France* de septembre 1999.



Notre couverture

A 51
Vue du mont Aiguille

D.R.

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 35 09 95
 Fax : (33) 0241 35 09 96
 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 :
 revue.generale.des.routes.rgra@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).

Editions Science et Industrie S.A.
 3, rue de Berri - 75008 Paris
 Commission paritaire n° 57304



éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

10

PRÉFACE

Jean-Marie Perrin

17

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

◆ A 51. Historique et contexte
 - A 51. Historical background and context

B. Miet, H. Magnon-Pujo

◆ A 51 : Un projet qui n'était pas gagné. De l'opposition à l'adoption, du bétonneur à l'aménageur

- A 51 : A project far from easy. From opposition to adoption, from design to concrete placement

C. Le Guellec, C. Maly

◆ Le concept architectural
 - The architectural concept

Fr.-H. Jourda

◆ A 51. Maîtrise d'ouvrage et Maîtrise d'œuvre
 - A 51. Local authorities and contracting agencies

B. Miet, J. Martin

◆ A 51 et la coordination de sécurité
 - A 51 and the coordination of safety

B. Miet

◆ Avant-propos
 - Foreword

La rédaction

18

23

26

28

29

31

LES TRAVAUX - VIADUCS

◆ Le viaduc de La Rivoire
 - The La Rivoire viaduct

B. Deberle

◆ Les viaducs du Crozet. Deux ponts en arc
 - The Crozet viaducts. Two arch bridges

G. Vanbremeersch

32

38

LES TRAVAUX - TUNNELS

◆ Les tunnels d'Uriol et du Petit Brion. Les travaux de génie civil et l'évolution des plans de tir

- The Uriol and Petit Brion tunnels. Civil engineering works and blasting phases

P. Hingant, L. Girardi, L. Brino

43

Sommaire

octobre 1999

L'autoroute A 51

Dans les prochains numéros

- Environnement**
- International**
- Ponts**
- Routes**
- Travaux urbains**
- Réhabilitation d'ouvrages**
- Sols et fondations**
- Tunnels**
- Terrassements**
- Autoroute A 89**
- Barrages**



LES TRAVAUX - ASSAINISSEMENT

- ◆ L'eau : un enjeu pour A 51
- *Water : a challenge for A 51*

V. Martin

50



LES TRAVAUX - OUVRAGES D'ART

- ◆ Les ouvrages d'art courants
- *Current engineering structures*

Fr. Renaud

54



LES TRAVAUX - TERRASSEMENTS

- ◆ A 51 - Les terrassements
- *A 51 - Earthworks*

J. Martin, G. Perrier, J.-M. Verne, E. Doyen

- ◆ La tranchée couverte du Serf. Une double voûte de 120 m de longueur pour préserver l'unité du hameau
- *The cut-and-cover section of Serf. A double arch 120 m long to preserve the unity of the village*

J. Martin

56

60



- ◆ Les murs de soutènement
- *Retaining walls*

P. Castan, J.-M. Vivier, J.-P. Berlioz, P. Sery, G. Perrier, J.-M. Verne

- ◆ Atténuer le bruit
- *Noise abatement*

A. Perazio

63

67



LES TRAVAUX ROUTIERS

- ◆ Les chaussées
- *Pavements*

Ch. Bel

- ◆ La centrale de concassage
- *The crushing plant*

B. Ollier

68

72



LES TRAVAUX - ÉQUIPEMENTS

- ◆ Les équipements
- *Equipment*

P. Castan, M. Raymond

76

ÉCONOMIE

- ◆ Les retombées pour l'économie locale
- *Spinoffs for the local economy*

P. Rimattei

79

économie

81

répertoire

des fournisseurs

87

En 1987, l'autoroute A 51 fait son apparition au schéma directeur routier pour relier Grenoble à Marseille. Six ans plus tard, la section nord entre Grenoble et Col du Fau, soit 26 kilomètres, est déclarée d'utilité publique et en janvier 1994 l'Etat concède cet ouvrage à AREA.

Mais avant d'accueillir ses premiers clients le 29 juillet dernier, A 51 aura déjà connu une vie mouvementée : manifestations d'opposants au projet, blocage du chantier pendant plusieurs mois, démarrage des travaux sous la protection des CRS... et jusqu'à la veille de l'ouverture le statut du futur échangeur de Vif, était incertain. Cependant, contre vents et marées, AREA a su mener à bien ce projet, trouver des alliés aussi bien dans le monde institutionnel que politique et surtout faire adhérer grand nombre de riverains à la cause A 51.

Autoroute urbaine sur sa partie basse, A 51 devient autoroute de montagne en atteignant l'altitude de 700 mètres à Coynelle. Une multitude d'ouvrages d'art, plus ou moins spectaculaires, rythment ces huit kilomètres qui se fondent dans le paysage, n'enlevant rien à la beauté des sites traversés. Outre le projet routier délicat compte tenu du relief, de la géotechnique difficile et de la sismicité du secteur, le projet soulevait de difficiles problèmes d'environnement, notamment l'aspect hydraulique qui s'est avéré très complexe : l'interdiction de tout rejet au milieu naturel sur huit kilomètres de long est une contrainte sévère.

La réalisation de ce nouvel aménagement a permis d'améliorer la situation actuelle tant au regard des inondations que de la pollution provenant des voies existantes à proximité des zones de captage.

Dans les "corridors" d'approche des agglomérations coexistent souvent maintenant, autoroute, route départementale

ou nationale et transports collectifs qui permettent d'offrir une gamme complète de moyens de déplacements et ainsi une meilleure répartition des trafics. Gain de temps, fiabilité, meilleure sécurité... l'autoroute constitue un itinéraire alternatif que beaucoup préfèrent.

Pour nombre de collectivités locales, ce n'est pas seulement une réponse quantitative, en terme de capacité, à un trafic croissant, c'est aussi le moyen de réduire les nuisances et d'améliorer la sécurité dans les zones urbanisées tout en restructurant l'offre de transport pour l'adapter aux besoins de la population et à ses attentes en matière d'économie de temps.

Depuis une dizaine d'années, différents projets d'aménagement du territoire et de plans de circulation ont donc conduit AREA à s'associer aux collectivités locales de la région Rhône-Alpes. Cela a aussi été le cas pour A 51 : un partenariat entre la Région, le Conseil général de l'Isère, la Communauté de communes de l'agglomération grenobloise, les communes concernées et AREA permettra d'offrir la gratuité des cinq premiers kilomètres d'autoroute aux automobilistes se rendant sur Varcès ou Vif.

Mais cette première section n'est qu'un début. Elle doit se prolonger jus-

qu'au Col du Fau. Les études et les acquisitions foncières sont en cours, un concours d'architecte a été lancé pour désigner le concepteur du franchissement de la vallée de Monestier-de-Clermont et nous espérons commencer les travaux rapidement.

D'ici là, je vous propose de découvrir cette section Grenoble-Coynelle d'A 51 qui aura généré 2,2 millions d'heures de travail, sur quatre ans et demi. Aventure humaine et technique passionnante, A 51 ouvre désormais de nouveaux horizons.



**JEAN-MARIE
PERRIN**

Président d'AREA

**Société
des Autoroutes
Rhône-Alpes**



© P. Pettier

Commune de Vif
Town of Vif

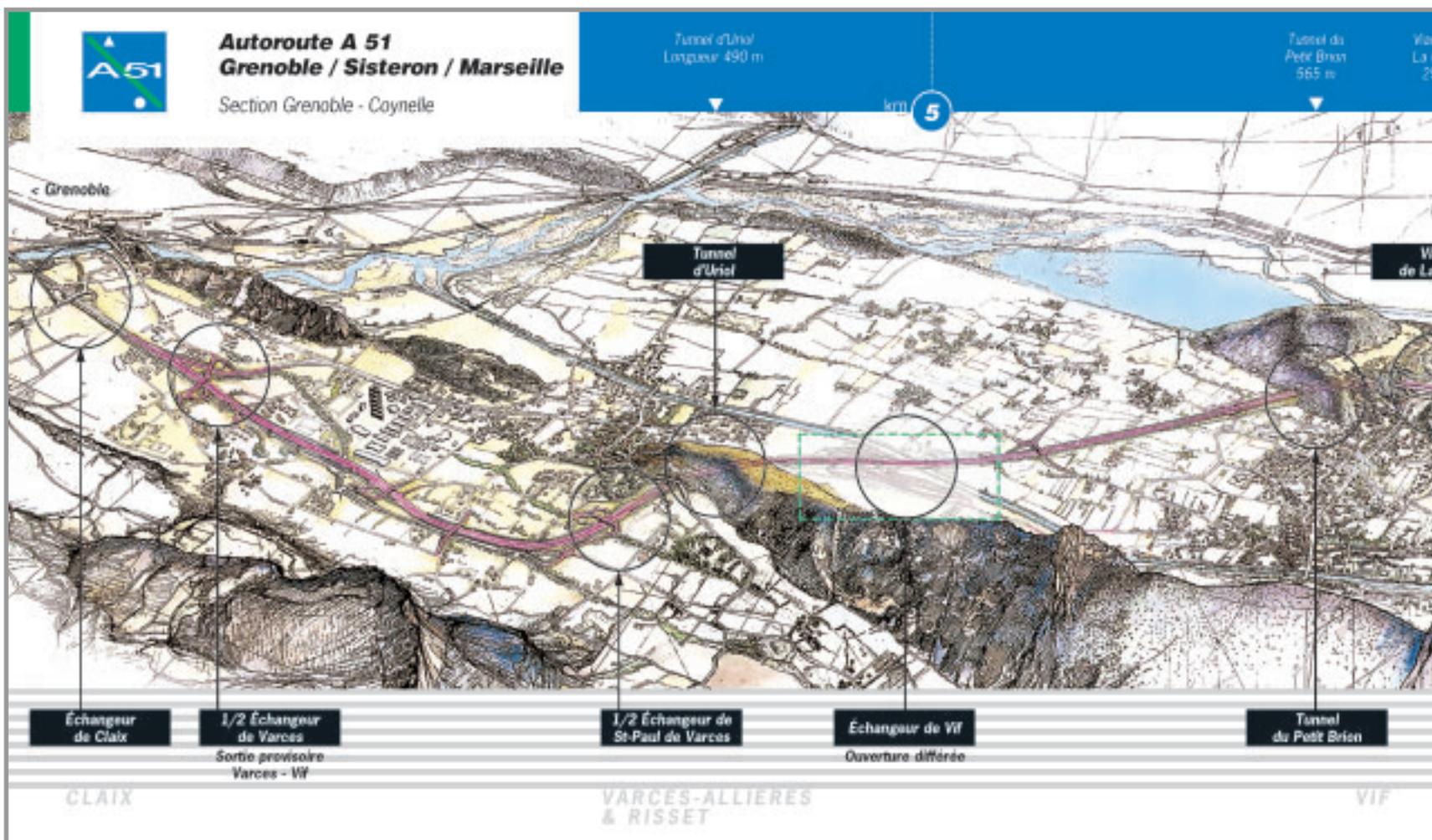
A 51 Historique

cières de la réalisation de cette section. Les seize premiers kilomètres d'A 51 nord, entre Grenoble et Coynelle, sont ouverts à la circulation le 29 juillet 1999.

Le 13 avril 1987, le projet de liaison Grenoble - Sisteron est inscrit par le Comité interministériel d'aménagement du territoire au schéma directeur routier national. Dès lors, différents services de l'Etat lancent les études préliminaires de la section Grenoble - Col du Fau, accompagnant le projet jusqu'à la déclaration d'utilité publique qui est signée par les ministres concernés le 31 décembre 1993.

AREA, avait été désignée comme concessionnaire de la partie nord de l'autoroute A 51. Un avenant vient alors fixer les conditions techniques et finan-

Avec A 51, AREA "hérîte" d'un dossier difficile doté d'une forte opposition. Après l'approbation de l'avant-projet sommaire, l'enquête publique se déroule du 9 juin au 9 juillet 1992 et suscite une forte mobilisation de la part des associations et populations locales. Elle recueille de très nombreuses observations et le mouvement d'opposition se cristallise principalement sur le tronçonnement du projet et son aspect environnemental. De leur côté, certaines municipalités directement concernées se sont affirmées contre A 51, refusant de participer aux réunions de concertation préalables à l'APS et prenant une part active dans la procédure de recours devant le Conseil d'Etat conduite par les opposants au printemps 1995.



et contexte

■ L'ENQUÊTE PUBLIQUE

L'enquête publique a donné lieu à une forte mobilisation de la part de la population et des associations :

- ◆ dépositions contre le projet : 2 965 ;
- ◆ dépositions pour le projet : 1 550 ;
- ◆ observations avec réserves sur le contenu du projet : 205.

La commission d'enquête, composée de neuf membres, se prononce à l'unanimité moins une voix pour la réalisation de cette section autoroutière, moyennant un certain nombre de recommandations sur une meilleure insertion du projet dans quelques secteurs, tels la montée vers le Petit Brion ou le passage du thalweg du Crozet.

Ce rapport, loin de calmer les débats, a incité les opposants à se mobiliser contre cette réalisation. Un collectif est créé, regroupant les communes

et les associations opposées à l'autoroute. Il débute alors pour engager plusieurs recours contre les différentes procédures.

Le décret d'utilité publique est cependant signé le 31 décembre 1993 et confirmé par le Conseil d'Etat en novembre 1995.

■ LE CALAGE DU TRACÉ

L'autoroute Grenoble - Col du Fau, d'une longueur de 26 km, est une section à 2 x 2 voies, élargissable à 2 x 3 voies sur les six premiers kilomètres, entre la jonction A 480/A 51 et l'échangeur de Vif. Cette autoroute est dimensionnée pour la catégorie L 80 de l'ICTAAL.

L'autoroute A 51 débute au sud de l'agglomération grenobloise, à Claix. La section comprise entre Grenoble et Coynelle s'inscrit, dans son démarrage,

Bernard Miet



DIRECTEUR TECHNIQUE
ET DES INVESTISSEMENTS
AREA

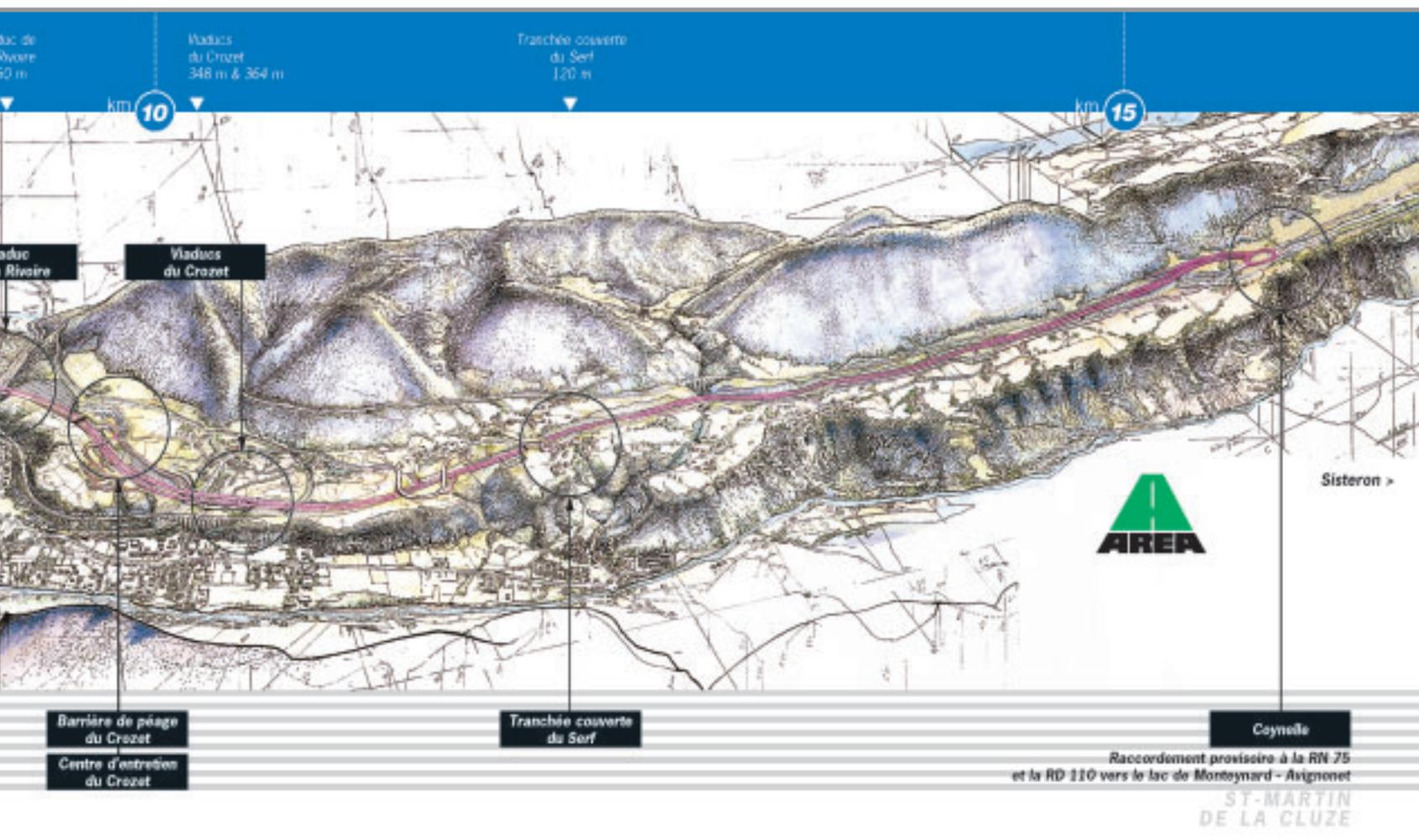
Hubert Magnon-Pujo



DIRECTEUR
DE PROJET A 51 (jusqu'en
avril 1998)
Scetauroute

Un itinéraire qui épouse
monts et vallées

View of route through mountains
and valleys



LA POLLUTION DE L'AIR

Dans le cadre de sa mission de maître d'ouvrage et avant l'application de la loi sur l'air, AREA, avec l'appui de Scetauroute, a confié à Socotec une analyse globale de l'impact potentiel des rejets sur les communes de Varcès. Il s'agit d'évaluer les émissions gazeuses des véhicules automobiles résultant du transfert du trafic routier de la RN 75 vers la future autoroute A 51, en tenant compte de l'évolution prévisible du trafic et de l'amélioration du parc de véhicules sur les émissions de polluants.

Les polluants pris en compte sont les suivants :

- ◆ CO monoxyde de carbone ;
- ◆ CO₂ dioxyde de carbone ;
- ◆ NOx oxydes d'azote ;
- ◆ HC hydrocarbures non méthaniques ;
- ◆ poussières ;
- ◆ d'autres polluants tels que les HAP (Halogénés aromatiques polycycliques) présents mais en faible quantité.

La zone est découpée en secteurs homogènes en fonction de la typologie du trafic : la typologie du trafic dépend de sa valeur mais également de sa composition (VL - PL, essence - diesel), du type de la voie (urbain, route...) et de la pente.

Plusieurs scénarios sont testés avec les configurations suivantes : RN 75 sans A 51, RN 75 et A 51 sans péage, RN 75 et A 51 avec péage.

La simulation des différents scénarios sur les émissions gazeuses du trafic automobile dans la zone d'étude met en évidence, d'une part des effets de forte réduction des nuisances pour les riverains de la RN 75 (divisées par 7 en 2000) et d'autre part, une meilleure maîtrise des émissions due au transfert d'une partie du trafic automobile de la RN 75 vers la future A 51 et de l'évolution du parc automobile.

Afin de mieux communiquer sur cette étude avec les collectivités locales et la population concernée et éviter de multiplier les graphiques par polluant, Socotec a établi un polluant théorique, exprimé en kg/jour sur TMJA, agrégeant les émissions des différents polluants selon une règle de pondération dépendant de leur toxicité respective pour la sécurité de l'homme. Les résultats sont alors traduits sous la forme d'histogrammes.

dans le cadre périurbain des communes de Claix, Varcès et Vif qui connaissent un fort développement ces dernières années. Au-delà, elle traverse des espaces ruraux montagneux, caractérisés par un relief plus accidenté.

A 51 passe ainsi de 250 m d'altitude à son origine, à 600 m à Coynelle pour atteindre 900 m au col du Fau.

Le plan général des travaux annexé au décret de déclaration d'utilité publique (DUP) a défini une bande restreinte d'environ 100 m de largeur pour le calage du tracé, contrairement aux 300 m habituels, ce qui réduit d'autant les possibilités d'adaptation.

Malgré le recours engagé contre la déclaration d'utilité publique, les communes ont accepté de participer aux négociations sur la mise au point du projet, à l'issue du rapport favorable de la commission d'enquête. Celles-ci ont abouti aux conclusions décrites ci-après.

Dans la plaine du Lavanchon

A 51 reprend la bande réservée, dans le projet de plan d'occupation des sols, au tracé de la déviation de la route nationale RN 75 de la commune de Varcès. Compte tenu de l'occupation périurbaine de la plaine du Lavanchon, des contraintes liées à la proximité des terrains militaires (avec dépôt de munitions) et à la position des pylônes de trois lignes haute tension quasiment parallèles à l'autoroute, il existe peu de marge de manœuvre pour le calage du tracé en plan, seuls les échangeurs et les rétablissements peuvent faire l'objet d'adaptation.

Le profil en long est, quant à lui, calé d'après les études hydrauliques.

Au-delà des demandes "classiques" (protections acoustiques, aménagements paysagers...), la commune de Varcès a insisté sur le rôle de déviation du trafic de la RN 75 que devait jouer A 51, et par conséquent les incidences sur les voiries locales des trois échangeurs prévus à l'APS :

- ◆ problème du péage sur l'échangeur de Vif nord ;
- ◆ capacité des voiries locales raccordées à ces échangeurs à recevoir un trafic supplémentaire.

Avec l'appui de son maître d'œuvre Scetauroute, AREA a donc lancé une étude de trafic localisée aux voiries des communales, avec une enquête origine-destination et des comptages, permettant d'établir un modèle à partir duquel pouvaient être simulées les différentes positions et configurations des échangeurs. A la suite de cette étude plusieurs aménagements sont intervenus :

- ◆ la bifurcation située à l'origine du projet est transformée en sortie avec une boucle de 50 m de rayon raccordée à la RN 75. Il s'agit d'inciter les automobilistes à prendre l'autoroute ;
- ◆ le demi-échangeur de Saint-Paul-de-Varcès est éclaté sur une déviation de la RD 107.

Dans la plaine de Reymure

Pour passer de la plaine du Lavanchon à la plaine de Reymure, l'autoroute franchit un contrefort du Vercors, la montagne d'Uriol, par un tunnel de 500 m de long.

A la sortie sud de ce tunnel, l'autoroute contourne Vif par l'est, la bande réservée dans les documents d'urbanisme à l'ouest de Vif étant déjà largement occupée. Toutefois, ce tracé ouest aurait dû être calé sur les pentes d'Uriol, surplombant Vif, créant d'importants problèmes d'intégration dans le site et de proximité de la commune.

Le positionnement de deux demi-échangeurs dans la plaine de Reymure, Vif nord et Vif sud, a fait l'objet de nombreux débats. En particulier celui de Vif sud, devant supporter un trafic urbain de l'ordre de 10 000 v/j, qui est localisé au pied de la montée au Petit Brion afin de desservir l'est de Vif, la RN 75 au sud de Vif et la RD 63 en direction de la vallée du Drac. Par ailleurs, il comporte des dispositions très contraignantes sur la récupération des eaux, étant situé dans la zone de protection éloignée des captages en eaux potables de la ville de Grenoble.

Suite à la demande des communes de Varcès et de Vif, et avec l'appui de l'étude de trafic, les deux demi-échangeurs sont regroupés permettant ainsi de faire jouer à l'autoroute le rôle de déviation de Varcès pour le trafic venant du centre de Vif et le secteur ouest. Afin de retrouver la fonctionnalité de l'ancien emplacement, le projet a été complété par une voirie dite de rabattement reliant Vif sud à Vif nord, parallèle à l'autoroute et sous maîtrise d'ouvrage des collectivités locales.

Le regroupement permet aussi de sortir le demi-échangeur de Vif sud de la zone des captages et d'être ainsi conforme à l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène. En effet, consulté dans le cadre de l'instruction mixte, celui-ci avait accepté le passage de l'autoroute dans la zone de protection, mais avait émis un avis défavorable à toute implantation d'ouvrages annexes tels que échangeurs, aires. Cette modification du système d'échanges est entérinée par une décision ministérielle approuvant un APS complémentaire.

Ce déplacement du demi-échangeur de Vif est une modification substantielle du projet, susceptible d'entraîner une déclaration d'utilité publique modificative. A l'issue de l'analyse juridique, la direction des Routes a décidé des procédures suivantes :

- ◆ en cas de besoin d'acquisition à l'amiable de terrains complémentaires, AREA doit simplement lancer une enquête de type Bouchardeau ;
- ◆ en cas d'acquisition par expropriation, il faut alors lancer une déclaration d'utilité publique modificative à l'échelon central ;
- ◆ la voirie de rabattement du trafic sur le nouvel échangeur complet doit faire l'objet d'une procé-

dure à l'échelon local assurée par les collectivités locales, maîtres d'ouvrage (département ou commune).

La traversée du plateau du Crozet

Par une rampe de 4,8 %, l'autoroute atteint le plateau agricole du Crozet après avoir franchi la colline du Petit Brion par un tunnel de 550 m et la vallée de la Rivoire par un viaduc de 250 m.

Le profil en long est quasiment imposé par la topographie. Il est nécessaire de limiter au maximum la hauteur du remblai dans la plaine de Reymure afin d'atténuer la coupure visuelle dans cette plaine. Il s'agit aussi de modérer les profondeurs du déblai du Crozet qui atteint déjà 30 m, puis de restreindre la hauteur du remblai (35 m) qui permet de franchir le thalweg du Crozet.

Ce dernier remblai créait une véritable barrière visuelle pour le hameau d'une cinquantaine d'habitations situé à proximité immédiate et ne favorisait nullement l'insertion de l'ouvrage dans le site notamment à cause de la proximité d'un viaduc SNCF du début du siècle. La Commission d'enquête a donc demandé, avant d'engager l'avant-projet autoroutier, l'étude d'une variante remplaçant ce remblai par un viaduc. A l'issue de cette comparaison, AREA a opté pour une solution viaduc et à l'appui des études architecturales et paysagères le projet de deux ponts en arc séparés est retenu.

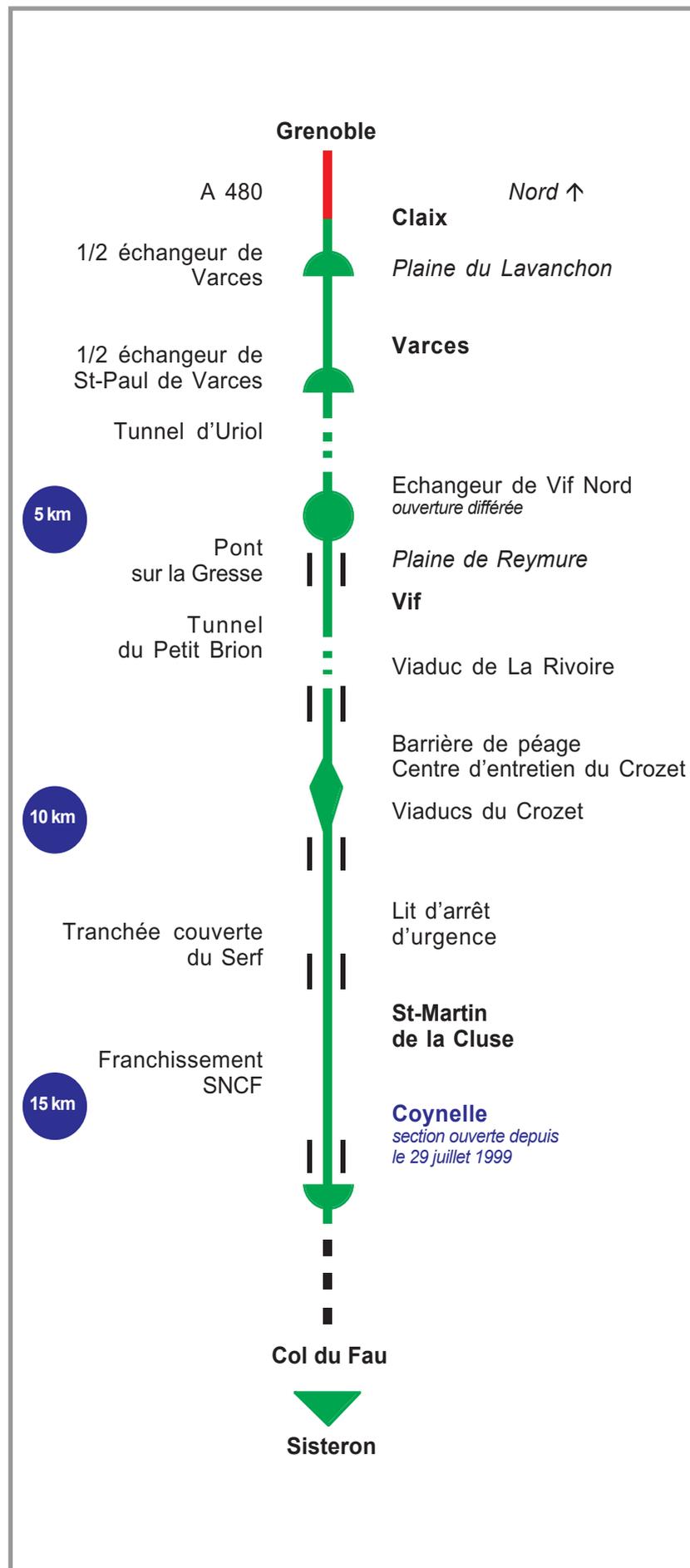
La montée vers Coynelle

Après avoir franchi le thalweg du Crozet, puis la voie SNCF, l'autoroute s'inscrit, avec une rampe de 5,4 %, entre la voie SNCF et la RN 75.

Le profil en long est lissé pour limiter le différentiel entre les pentes à 1,5 %. Dans la pente intermédiaire, l'autoroute est donc calée en fort remblai dans la bande étroite entre la voie ferrée et la RN 75, ce qui nécessite la construction de près de 10000 m² de murs de soutènement dans les zones où la RN 75 ne peut être déplacée. Comme ces deux infrastructures linéaires (RN 75 et voie ferrée), le tracé d'A 51 est plutôt rectiligne avec une succession de courbes et de contre-courbes de faible développement, dont les rayons sont compris entre 900 et 2400 m. Afin de ne pas inciter les automobilistes à une vitesse excessive dans cette forte pente, les visibilitées lointaines sont limitées à deux voire trois virages. La distance de visibilité reste cependant toujours supérieure à 350 m, c'est-à-dire nettement supérieure à la distance d'arrêt.

Lors de la conception détaillée de la géométrie de ce secteur, les avis divergent sur le déversement des courbes pour des rayons supérieurs au Rnd de la catégorie L 80 (900 m). Certains proposent de déverser pour mieux assurer la sécurité des automobilistes les plus rapides (au-delà de la vitesse

Synoptique du tracé
Schematic diagram of alignment





autorisée) et prennent en compte le Rnd de la catégorie L 120 (1.800 m), les autres précisent que l'inconfort de ces conducteurs dans des courbes non déversées les incite à limiter leur vitesse. Ce dernier parti a été retenu et aucune courbe n'est déversée dans cette descente (leurs rayons sont tous supérieurs à Rnd). Cette solution est plus favorable à l'évacuation des eaux (problème de basculement de dévers dans les fortes pentes où l'eau circule longitudinalement sur la chaussée).

Une maquette vidéo a été réalisée sur cette zone, permettant d'apprécier la perception des conducteurs ainsi que l'insertion des murs de soutènement et plus globalement du projet dans le site.



© S. Chappaz

**Un calage du tracé
entre plaines et montagnes**
*Alignment through plains
and mountains*

Le phasage transversal entre le Serf et Coynelle

A ce jour, au regard des incertitudes sur la partie centrale de la liaison Grenoble-Sisteron-Marseille, on peut affirmer que quoi qu'il en soit, l'axe complet ne sera pas en service avant une dizaine d'années. Or d'ici là, le trafic sur les extrémités d'A 51 sera faible. Aussi, en l'absence de décision sur le raccordement à la partie sud d'A 51, AREA a proposé à la direction des Routes un raccordement à Coynelle avec un phasage transversal sur les trois derniers kilomètres, permettant de différer une partie des investissements. Dans cette zone de chaussées décalées, le phasage consiste à réaliser une autoroute à 2 x 2 voies sur la plate-forme légèrement élargie de la demi-chaussée aval.

Ce nouveau profil en travers comprend :

- ◆ 1 BDD de 1 m ;
- ◆ 1 voie lente de 3,50 m ;
- ◆ 1 voie rapide de 3,00 m pour le sens montant et 3,25 m pour le sens descendant ;
- ◆ 1 BDG de 1,00 m pour chaque sens ;
- ◆ 1 séparateur béton de type DBA ;
- ◆ 1 refuge tous les 500 m environ.

Ce profil est très voisin de celui retenu, a priori, dans la future ICTAAL 2000 pour les autoroutes à trafic modéré.

MESURES ENVIRONNEMENTALES PARTICULIÈRES

A 51 traverse un secteur périurbain dense, des sites naturels sensibles qui nécessitent la mise en œuvre de dispositions particulières.

Ainsi, AREA a souhaité que l'ensemble de la section ait une cohérence architecturale, Françoise-Hélène Jourda, architecte, est donc intervenue sur plusieurs niveaux du projet et pas seulement sur les grands ouvrages d'art.

Du point de vue hydraulique, A 51 impose tout autant de contraintes. Dans la plaine du Lavanchon où le projet initial prévoyait de mettre l'autoroute en remblai, l'étude des zones inondables et de l'évacuation des crues a abouti à la construction d'un contre-canal et au recalibrage du lit conservant ainsi l'autoroute au niveau du terrain naturel et minimisant de ce fait l'impact de l'ouvrage sur l'environnement. De même, des mesures draconiennes sont prises lors de la construction de l'autoroute, en particulier dans la plaine de Reymure, zone de captage des eaux alimentant la ville de Grenoble. Tracé très controversé, il a conduit à prendre des dispositions très importantes pour maîtriser les éventuelles pollutions aussi bien en phase travaux qu'après ouverture à la circulation.

Un soin est apporté en terme de protection contre les nuisances sonores de l'autoroute, c'est ainsi que 12620 ml de merlons ou d'écrans sont réalisés sur la première section Grenoble - Coynelle de 16 km.

Au regard de l'importance du facteur environnement, sur ce projet, AREA a souhaité la mise en place d'un ingénieur spécialisé en environnement. Il a pour mission d'être à l'écoute des collectivités et des riverains sur les conséquences des travaux (tirs de mines, modification des accès, poussières, gêne à la circulation locale...), de vérifier la protection des milieux naturels durant la phase travaux, en liaison avec les responsables environnement des entreprises, de s'assurer de la bonne réalisation de toutes les mesures concernant l'environnement naturel et humain, conformément aux engagements pris.

Après la difficile période des travaux, tant pour les riverains que pour le milieu naturel, A 51 trouve progressivement sa place entre monts et vallées.



A 51 : un projet qui n'était pas gagné

De l'opposition à l'adoption, du bétonneur à l'aménageur

Caroline Le Guellec



CHARGÉE
DE COMMUNICATION A 51
AREA

Claire Maly



CHEF DE PROJET A 51
Agence New Deal

Le projet A 51 fait l'objet d'une attention particulière en terme de communication. Gérer la construction d'une autoroute située à la fois en zone périurbaine et en zone de montagne, dans un environnement naturel sensible et une hostilité au projet très affirmée est un exercice auquel la société est peu habituée. Aussi, AREA a mis en place une structure de communication adaptée : création d'un poste de chargé de communication spécifique et assistance d'une agence de communication grenobloise. Le dispositif est opérationnel depuis fin 1994. Les travaux d'A 51 démarrent en mars 1995 et sont aussitôt bloqués par les opposants, les risques d'affrontements physiques sont réels.

■ LE CONTEXTE POLITIQUE D'A 51

Le projet A 51 démarre dans une ambiance nationale difficile avec le développement partout en France de mouvements d'opposition à la réalisation de grands projets structurants tels le TGV Méditerranée, le canal Rhin-Rhône, le tunnel du Somport. Par ailleurs, l'opinion locale est très partagée sur le sujet avec une population rurale peu favorable, une population périurbaine qui travaille à Grenoble tout en habitant à la campagne et souhaite bénéficier des confort d'une autoroute et enfin une population urbaine (agglomération grenobloise) sensible aux plaisirs de la montagne, à l'écologie et à la défense de l'environnement. La région Rhône-Alpes a notamment la particularité de bénéficier d'un vaste réseau d'associations de défense de l'environnement très actives qui sont regroupées au sein d'une fédération : la FRAPNA.

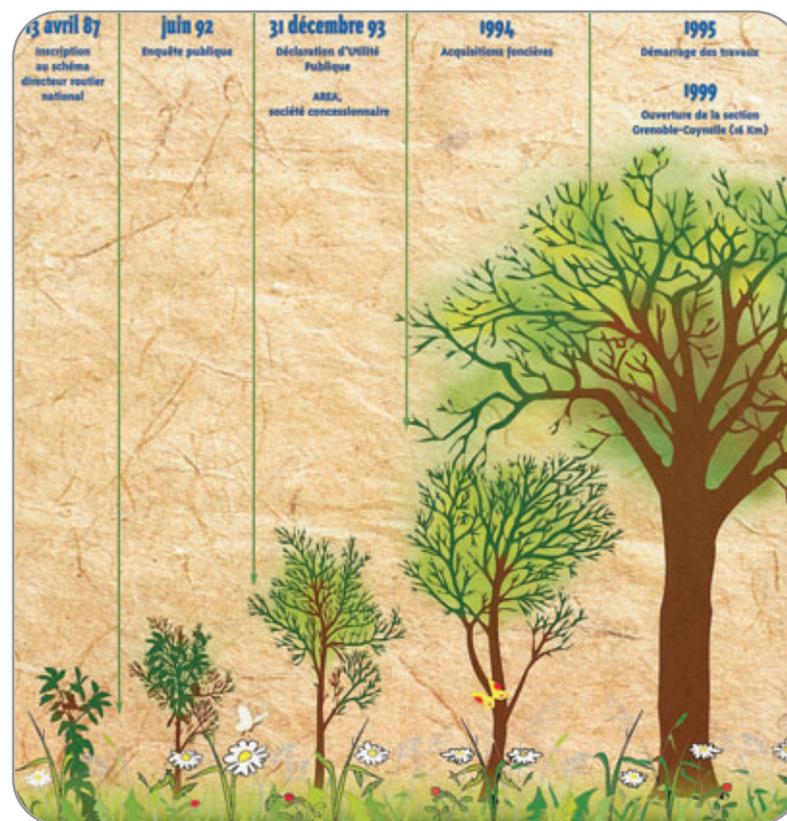
En pleine période d'échéances électorales locales, avec les cantonales 1994 et les municipales 1995, la construction de l'autoroute A 51 est un véritable instrument de bataille politique au moment où les "affaires grenobloises", révélées par les écologistes, sont au cœur de l'actualité.

Les médias se font largement l'écho de toute cette contestation du projet, d'autant plus que les opposants utilisent parfaitement la technique des coups médiatiques. Les partisans d'A 51 ne sont pas structurés donc pas écoutés. Quant à AREA, exécutant une mission d'Etat, elle doit mettre en évidence le processus légal tout en contrecarrant les fausses informations.

■ UNE TRIPLE PROBLÉMATIQUE DE COMMUNICATION

Le premier objectif de la communication est simple : faire démarrer les travaux.

Avant tout, il est nécessaire de resituer la réalité



Relier les Alpes
à la Méditerranée
*Linking the Alps
and the Mediterranean*

de l'autoroute A 51 et de ses enjeux en répondant aux interrogations de l'opinion et en positivant le projet en terme d'aménagement du territoire. Pour cela, les partisans d'A 51 doivent se faire entendre et les indécis s'affirmer en tant que partisans. Il convient aussi d'assurer une bonne lisibilité du projet en donnant une information contrôlée et officielle afin de faire taire les rumeurs. La fonction communication chez AREA doit s'adapter à cette nouvelle donne, il est alors impératif de raccourcir les délais de réactions médiatiques : un dispositif de communication de crise est mis en place. Cette stratégie doit jongler avec des contraintes qui s'imposent d'elles-mêmes. Il est interdit pour

La maison de l'information A 51
The A 51 Information Centre



A 51 Infos - La déclaration d'utilité publique
"A 51 Infos" - Public utility declaration confirmed



Les journées portes ouvertes : près de 3 500 visiteurs accueillis

The "Open Doors" days : almost 3,500 visitors



A 51 un projet controversé
A 51 a controversial project



AREA d'entrer dans un débat politique qui n'est pas celui du concessionnaire : la société exécute une mission d'Etat.

■ LA GESTION DE LA CRISE

Deux cibles de communication sont privilégiées : les leaders d'opinion et le grand public. La principale difficulté réside avant tout dans le fait que le terrain médiatique est littéralement cerné par les opposants, il est donc impératif de reprendre l'avantage et de trouver des tribunes pour s'exprimer. Une conférence de presse avec le président d'AREA marque le premier acte de communication officiel et permet d'établir le contact. Il s'agit de ne plus le rompre. Un dossier de presse exhaustif répond point par point à l'ensemble des questions abordées par l'opposition, des déjeuners presse personnalisés sont organisés. Les médias portent alors un autre regard sur A 51 et il est possible de constater un premier tournant dans la perception du projet. Simultanément, des réunions d'informations sont organisées à l'attention du monde politique et socio-économique : Chambre de commerce et d'industrie, entreprises de travaux publics... élus

du département, de l'agglomération... des actions de lobbying sont entreprises.

Une enquête d'opinion préalable révèle que 63 % des habitants de la région grenobloise sont plutôt favorables au projet. Cette tendance est contradictoire avec la perception que l'on pouvait se faire d'A 51, il devient impératif de mobiliser ce potentiel en réponse aux opposants. AREA met en place une stratégie de communication qui a pour objectif principal de contrecarrer les arguments de l'opposition, de transformer les indécis en partisans. Un supplément de huit pages est encarté dans toutes les éditions du Dauphiné Libéré, soit 400 000 exemplaires. Traité sous forme rédactionnelle, il permet de faire un point complet sur le projet de construction de l'autoroute A 51, de rétablir des vérités et de valoriser l'impact d'A 51 sur l'économie locale et la protection de l'environnement des zones traversées.

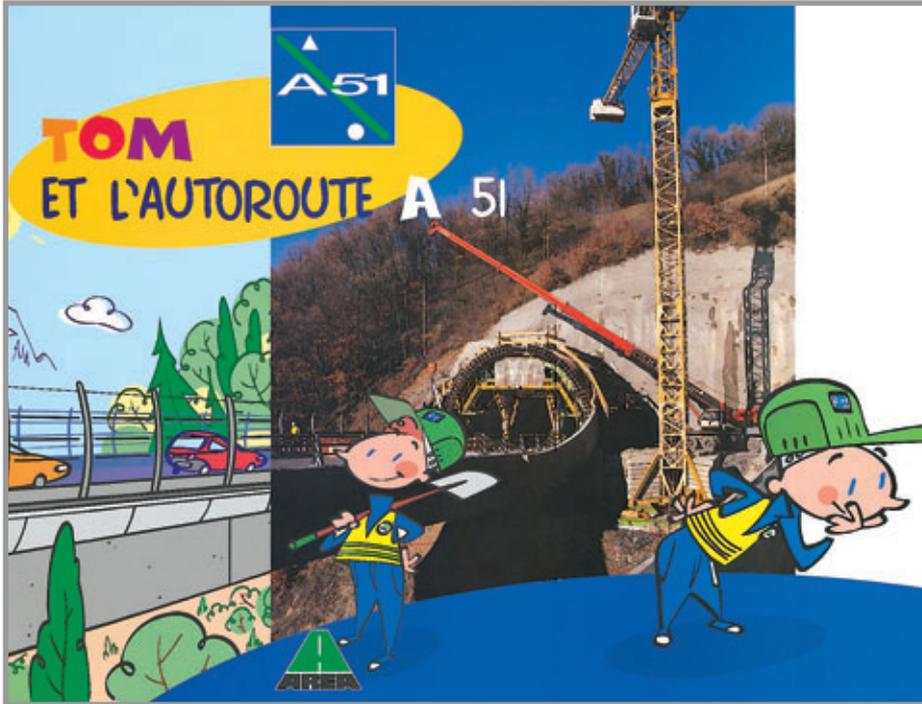
A 51 infos fait son apparition dans les boîtes aux lettres des riverains, soit environ 20 000 exemplaires diffusés chaque trimestre. Les premiers numéros permettent de faire un point global sur le dossier et de traiter les sujets qui portent à controverse tels : le bruit, l'eau, l'environnement... A travers la rubrique "AREA vous répond", A 51 infos se veut aussi un lieu d'échanges avec les riverains. Parallèlement, un observatoire de l'opinion est mis en place, véritable veille stratégique des médias, de l'opposition et suivi de l'évolution de la perception du projet. La communication est par ailleurs adaptée en fonction des points et questions soulevés par les opposants, recueillis via un système de remontées d'informations organisé.

Les résultats de cette communication de crise sont probants, on constate une réelle évolution dans la perception du projet, les informations sont mieux relayées. A 51 infos est plébiscité par les riverains avec un taux de lecture de 82 %. Deux événements "extérieurs" influent aussi en faveur d'AREA, puisque les opposants sont condamnés par les tribunaux et le Conseil d'Etat confirme la déclaration d'utilité publique.

Parallèlement les partisans du projet se sont mobilisés, 7 000 signatures pour A 51 sont réunies et adressées aux autorités. En six mois, le pourcentage des habitants de l'agglomération grenobloise plutôt favorables au projet passe de 63 à 75 %. Les travaux démarrent, le climat est assaini, se met alors en place une communication d'accompagnement des travaux.

■ L'ACCOMPAGNEMENT DES TRAVAUX

Cette stratégie de communication se résume en trois mots : proximité, simplicité, convivialité. Scetauroute constitue un relais pour les élus locaux, les entreprises et les riverains, cependant,



**Un livre à destination
des enfants :**
"Tom et l'autoroute"

A book intended for children :
"Tom and the Motorway"



© S. Chappaz

**Conférence de presse
avec les enfants**

**Press conference
with children**

AREA affirme sa présence sur place et favorise un contact direct avec les populations concernées. La Maison de l'Information A 51 est le premier maillon de ces relations de proximité qui sont initiées. Pendant la première année de chantier, cette maison est un lieu d'échanges sur tous les points concernant le projet : impact sur l'environnement, positionnement des protections acoustiques, gestion de la cohabitation parfois complexe d'un chantier avec une zone périurbaine... Un film de présentation d'A 51, des expositions thématiques, des maquettes permettent d'expliquer et de faire comprendre le projet.

Par la suite, cette Maison devient le point de départ des visites de chantier. En effet, le chantier de construction de l'autoroute A 51 est devenu en peu de temps un haut lieu du tourisme régional! Les trois journées portes ouvertes organisées ont accueilli près de 3500 personnes. Face à une demande toujours croissante, des visites sont organisées un samedi par mois avec en moyenne une centaine de participants.

Cette affluence concerne aussi les scolaires, AREA a conçu, en collaboration avec une classe de CM2 de la commune de Vif, un livre à destination des enfants : "Tom et l'autoroute A 51". Véritable support pédagogique, ce livre est largement utilisé dans les écoles et collèges situés dans la zone du chantier; un réel travail est engagé avec les enseignants et chaque visite de chantier est adaptée à leur demande en fonction des thèmes qu'ils souhaitent aborder : les métiers, la géologie, l'impact sur le paysage...

Parallèlement, A 51 infos continue de transmettre une information régulière sur l'avancement des travaux, sur la vie du chantier. Ce support est complété par des fiches techniques thématiques sur les ouvrages d'art et la protection de l'environnement.



© S. Chappaz

**Des enfants fascinés
par le chantier**

**Children fascinated
by the worksite**

Durant cinq années, les médias ont fait l'objet d'une attention particulière : suivi quasi individuel des journalistes, accompagnement systématique sur le terrain, réalisation et envoi régulier de dossiers d'information et de communiqués de presse, organisation de voyages de presse et de rencontres avec les techniciens... Ce dossier A 51, si polémique et difficile à son démarrage, aura cependant par la suite bénéficié d'une couverture médiatique objective et argumentée.

Mercredi 28 juillet 1999, 300 personnes se retrouvent pour célébrer A 51 au cours d'une fête amicale. A cette occasion, chacun se voit remettre son "Carnet d'Aventure", ouvrage qui raconte en images et en quelques mots les quatre années et demie que nous venons de partager.

Jeudi 29 juillet 1999, c'est avec une grande émotion que nous laissons entrer sur A 51 les premiers véhicules. La foule est massée sur les passages supérieurs applaudissant l'événement.

La section Grenoble-Coynelle de l'autoroute A 51 fait désormais partie du réseau AREA.

Le concept architectural

Deux types de perception de l'auto-route entraînent deux niveaux de compréhension. Tout d'abord, la perception de l'automobiliste, pour lequel à 130 km/h l'auto-route apparaît comme un large ruban, défilé, dont les courbes sont larges, comme un parcours sans heurt, sans obstacle et continu. Le paysage perçu est celui d'une image défilant sur l'écran du pare-brise. Le confort de l'automobiliste est en relation directe avec la souplesse des courbes, le calme de l'aménagement, même si des "ruptures" sont nécessaires pour tromper la monotonie excessive du parcours. Pour l'auto-route A 51, la monotonie n'existe pas étant donné la beauté et la diversité des paysages traversés.

Le deuxième type d'approche de l'ouvrage dans le site se fait de manière statique, soit dans la perception de proximité (les riverains), soit dans une approche lointaine (les habitants des villages voisins, les promeneurs). Cette approche est d'autant plus importante que le site vallonné ou montagneux permet des vues lointaines exceptionnelles. L'auto-route intervient alors comme un élément à l'échelle du paysage, mais selon des séquences paysagères différentes ou "points de vue".

Le mode d'approche de l'ouvrage n'est donc pas unique. Il se fait sous de multiples formes et parfois contradictoires.

■ LE REFUS DE L'AUTOROUTE "CAMÉLÉON"

Notre première prise de position face au projet de l'ouvrage dans le site fut de refuser *a priori* toute tentative de mimétisme ou de confusion de l'auto-route dans le paysage.

Ceci pour deux raisons majeures, dont la première est la qualité remarquable des paysages naturels traversés. Vouloir masquer l'auto-route, la fondre dans un paysage aussi diversifié que celui de la section Grenoble - Col du Fau, était de toute manière impossible. La quantité d'ouvrages nécessaires pour franchir les obstacles de la montagne (tunnels, viaducs, remblais, déblais) bouleverse nécessairement le paysage. L'auto-route "caméléon" est un leurre. Elle transforme la topographie, la géographie des lieux, quels que soient les artifices de camouflage utilisés.

C'est une ligne artificielle, qui se joue des reliefs, géométrie pure et indépendante du paysage naturel, "perfusion" du site qu'il doit irriguer. L'ouvrage exprime un niveau de technicité, de développement du savoir-faire humain qu'il ne faut pas minimiser. Ceci est d'autant plus vrai qu'il est un moyen de communication finalement économe d'espace si on le compare à la quantité de surface goudronnée équivalente avec des voies routières traditionnelles. Par ailleurs, les travaux de l'auto-route sur ses emprises en zone périurbaine peuvent contribuer à qualifier des lieux mal définis par un urbanisme désordonné en créant des limites qui, artificielles, remplacent les obstacles naturels qui ont souvent contribué à contenir l'expansion des petites banlieues rurales.

A ce refus du camouflage se sont ajoutés deux constats qui ont contribué parallèlement à déterminer les concepts générateurs de l'architecture de l'auto-route :

- ◆ la diversité des objets et la nécessité d'une ligne de *design* : une auto-route est composée d'un très grand nombre d'objets dont fait partie la catégorie "ouvrages d'art", mais aussi la bande de "roulement" elle-même, la signalétique, les garde-corps, les luminaires, les équipements des zones de repos ou de péage, les bâtiments annexes... Tous ces ouvrages sont différents dans leur forme, leur taille, leur fonction, leur couleur... La définition d'une ligne de *design* ou "ligne architecturale", intégrant tout ou partie de ses éléments disparates, permet d'associer à l'auto-route une image valorisante, expressive de cette "ligne déliée", de ce ruban artificiel et indépendant du site ;

- ◆ la complexité et la diversité des sites traversés : la topographie montagneuse, le tracé alternant tunnels et viaducs, le plateau et la moyenne montagne, conduisent à une approche du paysage de manière fragmentaire, en séquences paysagères indépendantes, caractérisées chacune par une unité de paysage perçu. Chaque partie de l'auto-route, à l'intérieur de la séquence paysagère, doit être raisonnée selon les points de vue statistiques des riverains permanents ou occasionnels, en vues lointaines ou rapprochées. Ceci est d'autant plus important que de nombreuses zones "fragiles" peuvent être identifiées sur le site (du point de vue paysager et écologique).

■ LES CONCEPTS ARCHITECTURAUX

Ils sont fondés sur ce double objectif : l'identification et la valorisation du concept même d'auto-route et l'adaptation des ouvrages à chaque site et unité paysagère. Ils s'appuient sur trois principes :

- ◆ l'identification d'une "bande de roulement" et son indépendance dans le paysage, sa permanence à travers tous les sites traversés.

L'identité de l'auto-route, sa spécificité résident dans la "bande de roulement" proprement dite, fortement différenciée des autres voies terrestres de communication par sa linéarité et sa continuité. Elle répond au premier mode d'approche, celui de l'automobiliste : l'auto-route comme ligne déliée et confortable, au tracé artificiel, à la géométrie pure dans le paysage naturel. Cette "bande de roulement" intègre tous les éléments nécessaires à son fonctionnement (signalétique, protections, soutènement, éclairage, téléphones...). Il s'agit dès lors de déterminer une ligne de *design* commune à tous ces objets souvent hétéroclites. Elle se différencie fortement du paysage, elle vient se "poser" dans le site en contredisant parfois les lignes de force du paysage. Les raccords au site (talus, plantations) appartiennent eux à la logique du paysage environnant et respectent ainsi le plus possible l'état existant ;

- ◆ des ouvrages d'art indépendants de la "bande de roulement" – tous différents selon les sites traversés – qui supportent la chaussée en conservant son autonomie architecturale et adaptés à chaque unité paysagère. Ils sont susceptibles de transformer ou de constituer tout ou partie du paysage ;
- ◆ une intégration forte dans le paysage de tous les



**Le tube sortant
de la montagne**
*Tube coming out of
the mountain*

© S. Chappaz

éléments annexes qui accompagnent la "bande de roulement" mais qui ne la constituent pas : aire de repos, bâtiments liés à l'entretien... Ils doivent appartenir à l'espace végétal, l'espace rural alentour, et non à la courbe déliée de l'autoroute. Les "raccords" au site, les aménagements paysagers de cicatrisation dans le paysage doivent également poursuivre les lignes de force du paysage existant, les renforcer, affirmant le cas échéant la contradiction architecturale, géométrique entre la "bande de roulement" et le paysage dans lequel elle vient s'insérer.

■ L'ARCHITECTURE

La bande de roulement et ses équipements intégrés : le tube virtuel

L'autoroute est un fluide. C'est une "perfusion" du site, espace de circulation rapide irriguant la montagne. C'est un canal, un tube qui contient les véhicules, les isole d'une certaine façon du paysage, et permet ainsi de respecter les éléments naturels. Il se déroule dans la campagne, se détache du sol ou le transperce. Autour, le paysage naturel est reconstitué le plus près possible de l'état "zéro". Cette "bande de roulement" peut être détachée du sol ou glisser sur lui selon la topographie. Elle est exprimée comme un tube virtuel refermé parfois par ses parois latérales, coques de protection ou de soutènement, s'adaptant à l'environnement en

modifiant sa peau (antibruit, réfléchive, transparente, végétale, massive...) mais toujours dans la pureté des lignes courbes, généralement seulement esquissées par la glissière redessinée. C'est un objet linéaire fluide, tout en courbes continues, exprimant fonctionnalité, vitesse et efficacité.

Des ouvrages d'art à la logique architecturale organique

Lorsqu'ils ne font pas partie intégrante du tube virtuel (raidisseurs de la coque du tube), ils sont les éléments qui le supportent. Leur architecture naît de leur confrontation avec le site. Suspendue ou portée, la bande de roulement garde sa continuité. L'architecture des ouvrages emprunte ses formes et ses logiques structurales aux formes naturelles, aux constructions végétales ou animales. Ces ouvrages sont d'un statut à la fois artificiel – car ils s'affirment comme des constructions de l'homme – et naturel, car ils prolongent les lignes du paysage, renforcent leur autonomie, et empruntent leur géométrie aux constructions végétales et osseuses.

Par l'utilisation simultanée de ces deux concepts – l'affirmation de la pureté géométrique de l'autoroute et l'architecture différenciée par paysages mais fusionnelle avec la nature –, l'autoroute est à la fois un objet autonome, indépendant du site, objet artificiel irriguant le paysage, et un élément proche de la nature car y empruntant ses caractères architecturaux.

Maîtrise d'ouvrage et Maîtrise d'œuvre

Désignée par l'Etat comme société concessionnaire de la section Grenoble - Col du Fau d'A 51, AREA a pour mission de réaliser le tronçon autoroutier selon les données consignées dans le cahier des charges de sa concession, les pièces contractuelles de l'avant-projet sommaire approuvé, le dossier des engagements de l'Etat et les normes techniques en vigueur.



Bernard Miet
DIRECTEUR TECHNIQUE
ET DES INVESTISSEMENTS
AREA

La section Grenoble - Coynelle d'A 51 fait partie intégrante du réseau AREA qui compte désormais 384 kilomètres. La construction d'A 51 entre de fait dans un cadre défini, lié étroitement à l'existant et imposant des spécifications propres, en particulier pour ce qui concerne l'exploitation et la gestion des données.

AREA a confié à Scetauroute une mission d'assistance à la maîtrise d'ouvrage (foncier, ordonnancement, procédures, budget, représentation locale...) et de maîtrise d'œuvre générale en lui fixant le programme, le coût et le délai de réalisation.

Le contexte A 51 a justifié trois objectifs importants :

- ◆ le respect de la qualité avec la mise en œuvre d'un plan d'assurance qualité maîtrise d'ouvrage - maîtrise d'œuvre ;
- ◆ le respect de l'environnement, en imposant au maître d'œuvre de fixer pour chaque marché les mesures spécifiques à prendre à cet égard puis à en vérifier l'exécution ;
- ◆ le respect de la sécurité, par le suivi régulier des problèmes rencontrés sur le chantier dans le cadre de la coordination de sécurité.

En sa qualité de maître d'ouvrage, AREA a la responsabilité de la réalisation de l'ouvrage vis-à-vis des administrations, des collectivités et du tissu local dans lequel se situe l'infrastructure ainsi que des marchés de construction. L'exploitation étant directement de son ressort, AREA fixe les dispositifs qui lui sont propres, relatifs à la viabilité, la perception du péage et les réseaux de communication, l'ensemble des informations étant répertoriées à CESAR, le PC de circulation d'AREA, situé à Aiguebelette en Savoie.

En fin de construction, AREA doit définir les limites d'emprise nécessaires à l'exploitation d'A 51 et rétrocéder les terrains supplémentaires.

Choisie pour assurer l'assistance à la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, Scetauroute est intervenue dès les années 1994-1995 sur le lancement des phases d'avant-projets, tant pour la section courante que pour les ouvrages spécifiques tels que les tunnels, les viaducs ou les zones de murs et l'établissement des dossiers comme celui de la Police des Eaux ou des comités de suivi.



Jacques Martin
DIRECTEUR DE PROJET A 51
Scetauroute

Scetauroute a mis en place une direction de projet A 51 basée à Seyssins (agglomération de Grenoble), a constitué des services foncier, environnement, une direction des études et un suivi de gestion des projets (budget AREA - budget Scetauroute), ce jusqu'à la production des DCE. En phase de construction, une direction des travaux entre en action, installée sur un site proche du chantier (Vif). L'équipe complète de maîtrise d'œuvre compte environ 25 personnes et l'organisation se fait autour de quatre pôles d'intervention :

- ◆ le pôle section courante, chaussées, assainissement ;
- ◆ le pôle spécialisé viaducs ;
- ◆ le pôle spécialisé tunnels ;
- ◆ le pôle spécialisé équipements de section courante.

A côté, sont intervenus des spécialistes, cellule environnement, paysagiste, ainsi qu'un géomètre chargé du contrôle et du récolement informatisé et un groupement d'architectes chargé de la maîtrise d'œuvre particulière de la gare de péage et du centre d'entretien du Crozet.

La direction de projet est impliquée avec les différents acteurs du projet : réunions trimestrielles avec les comités de riverains, bimestrielles avec la Direction départementale de l'Équipement, mensuelles avec les services assurant le suivi des eaux de Grenoble... et doit informer les différents pôles de son organisation via des réunions de projet mensuelles afin que les décisions parviennent rapidement aux différents acteurs.

A 51 s'est distinguée par sa complexité, due d'une part à la multiplicité des ouvrages d'art, résultante du contexte périurbain et montagnoux qui entrecoupe la section courante et justifie des largeurs de plate-forme différenciées selon l'implantation de la zone et d'autre part aux aménagements d'environnement tout particulièrement hydrauliques compte tenu de la spécificité forte du site à cet égard. Enfin, la volonté d'AREA de faire participer au maximum les entreprises locales a engendré un nombre important (plus de 100) de marchés séparés à analyser et à gérer.

Dans ce contexte, le maître d'œuvre a respecté le coût objectif de l'opération et les délais de livraison du premier tronçon d'A 51.

A 51 et la coordination de sécurité

Bernard Miet



**DIRECTEUR TECHNIQUE
ET DES
INVESTISSEMENTS
AREA**

AREA a toujours été très attachée à la prévention, la sécurité et les conditions de travail des chantiers réalisés sous sa maîtrise d'ouvrage par la présence d'agents spécialisés chargés de prendre les dispositions nécessaires à cet égard.

Depuis le décret du 26 décembre 1994 relatif à la coordination de sécurité, AREA a modifié les dispositions prises auparavant pour s'adapter à la nouvelle réglementation qui, conçue davantage pour la réalisation d'opérations situées sur un site unique, étaient d'application plus difficile sur un ouvrage linéaire.

Le nombre important de marchés généralement confiés en cotraitance et comportant de nombreux sous-traitants engendre des lieux de coactivités à gérer réglementairement sur le plan de la sécurité par l'unique coordonnateur, chaque chef d'entreprise étant responsable des activités de sa propre entreprise. De plus, l'intrusion du coordonnateur de sécurité, œil du maître d'ouvrage à l'intérieur d'un groupement d'entreprises, peut s'avérer délicate.

Aussi par souci d'efficacité AREA a imposé dans les marchés que soit désigné un interlocuteur unique par groupement qui s'assure que la planification des activités dans l'espace ne conduise pas dans les zones de coactivités à des interférences non réfléchies. Il assiste le coordonnateur de sécurité et lui transmet les éléments administratifs de l'ensemble des entreprises et sous-traitants de son groupement.

Après mise au point du plan général de coordination valable pour l'ensemble du chantier et joint aux différents dossiers de consultation, le coordonnateur de sécurité accueille les entreprises retenues par une visite préalable des lieux puis valide leur plan particulier de sécurité et de protection de la santé, et tient à jour le registre journal dans lequel sont enregistrés les documents officiels et les observations faites aux entreprises.

■ LE COLLÈGE INTERENTREPRISES DE SÉCURITÉ DE SANTÉ ET DES CONDITIONS DE TRAVAIL

Président le collège interentreprises, le coordonnateur de sécurité a en outre mis en place par zones une commission mensuelle, relais du collège. Cette structure traite localement des problèmes de coactivités et des risques spécifiques en exami-



© J.-M. Huron

**Commune de Vif.
Simulation de pollution accidentelle.
Mise en place du dispositif
et observation du site par les pompiers**

Town of Vif. Simulation of accidental pollution. Setup of system and observation of site by fire brigade

nant les programmes de réalisation des semaines à venir. Elle est composée de représentants du maître d'œuvre des entreprises, de l'Inspection du travail de la CRAM, de l'OPPBT et de la médecine du travail.

Les plaines du Lavanchon et de Reymure, les tunnels d'Uriol et du Petit Brion, le plateau du Crozet à Coynelle, les viaducs de La Rivoire et du Crozet sont quatre zones du chantier qui ont une commission propre. Leur secrétariat est assuré par l'"homme sécurité" que l'organisation des chantiers de l'autoroute A 51 exige au sein de chaque groupement.

■ LE DOSSIER D'INTERVENTION ULTÉRIEUR SUR L'OUVRAGE

Entre aussi dans la mission du coordonnateur de sécurité, la rédaction du DIUO, Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage. Il s'agit de donner à l'exploitant les moyens d'intervenir sur l'ouvrage en toute sécurité, notamment lors des opérations d'entretien ou de maintenance.

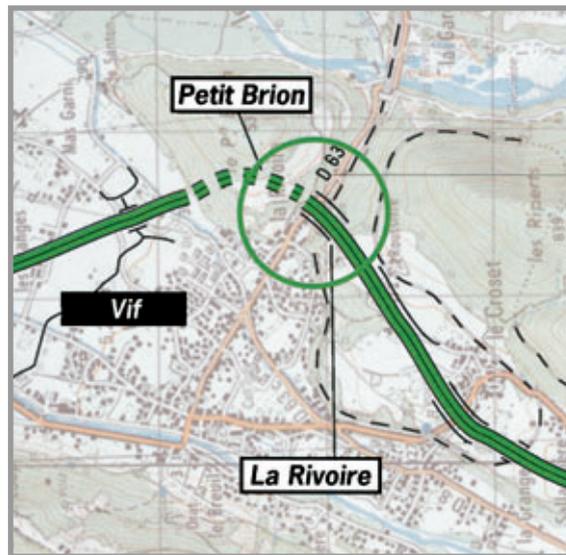
Autres spécificités de la sécurité sur le chantier de l'autoroute A 51, des visites régulières des chantiers sont organisées à l'attention des pompiers, de la gendarmerie, du SAMU, de la protection civile. Ces personnes référentes en cas d'accident possèdent également les plans d'accès de secours sur les sites de construction. Des sessions de formation ou d'information des personnes habilitées à intervenir sur le chantier constituent des moyens de prévention supplémentaires, ce sont notamment des formations au secourisme. Ainsi, toutes les personnes habilitées ont été sensibilisées sur la notion de sécurité et connaissent parfaitement le rôle à tenir en cas d'accident.

Les dispositions prises, notamment celles relatives à la présence d'un "homme sécurité" imposée dans chaque groupement d'entreprises et correspondant du coordonnateur de sécurité du chantier, ont été présentées à l'Inspection du travail et au représentant de l'OPPBT. Elles n'enlèvent en rien la responsabilité du maître d'ouvrage à travers son coordonnateur de sécurité.

Le viaduc

Le viaduc de La Rivoire, ouvrage d'art dont les contraintes techniques sont diverses, permet d'assurer la liaison entre le tunnel du Petit Brion et le plateau du Crozet.

Il franchit la combe reliant la vallée de la Gresse (à l'ouest) à la vallée du Drac (à l'est), entre les massifs du Petit et du Grand Brion (respectivement au nord et au sud).



Plan de situation
Location

LES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DU VIADUC

L'axe général en plan de l'autoroute est un cercle de rayon 1000 m. Le franchissement de la brèche est réalisé par deux ouvrages indépendants. Les deux tabliers sont concentriques avec des rayons en bord gauche de 984,50 et 1001,15, leur entraxe étant de 24,10 m. Cette valeur, peu habituelle, est justifiée par la présence des deux tubes du tunnel du Petit Brion au nord. Les appuis sont rayonnants.

L'ouvrage est en rampe constante de 4,8 % du nord au sud, prolongée de part et d'autre du viaduc. Chaque tablier de l'ouvrage est prévu pour porter deux voies de circulation et présente un dévers unique de 2,5 % dirigé vers l'intérieur de la courbe. Le vide central entre deux ouvrages est de 13,95 m. Compte tenu de l'enchaînement immédiat du tunnel du Petit Brion, où la largeur roulable est de 8,50 m (deux voies de 3,50 m, une bande dérasée de 1 m et l'autre de 0,50 m), une largeur utile réduite de 8,75 m a été acceptée par dérogation à la circulaire du 19 août 1991.

Le profil en travers sur ouvrage comporte :

- ◆ une bande dérasée de droite de 1,00 m ;
- ◆ deux voies de 3,50 m ;
- ◆ une bande dérasée de gauche de 0,75 m.

LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

Au stade de l'étude préliminaire, après analyse de trois types de données principales, géométriques, topographiques et contraintes d'ordonnement général, la réalisation d'un ouvrage à poutre caisson de hauteur variable en béton précontraint, à trois travées, a été retenue. Le tablier est à une longueur totale mesurée sur la projection horizontale de l'axe d'extrados entre ligne d'appuis sur culées, égale à 247 m. Il est découpé en trois travées dont les portées valent du nord (culée C1) vers le sud (culée C4) : 64,000 + 113,000 et + 70,000. La longueur et les travées de l'ouvrage ouest sont dans les rapports des rayons entre les deux ouvrages. Ce choix résulte d'un compromis entre :

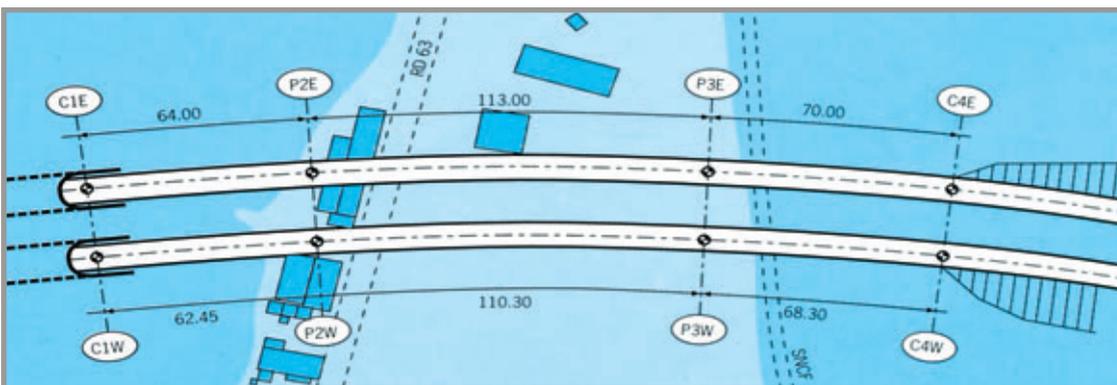
- ◆ la présence de la RD 63 et de la ligne SNCF qui oblige à l'implantation des piles à l'écart de ces deux voies, d'où une travée centrale de longueur imposée ;
- ◆ l'équilibre des travées de rive et de la travée cen-

L'ouvrage de La Rivoire assure le franchissement du vallon qui relie la commune de Vif (vallée de la Gresse et RN 75) à celle de Saint-Georges-de-Commiers (vallée du Drac et RD529 en direction du plateau Matheysin). Il surplombe successivement, du nord au sud, le quartier de La Rivoire, la RD 63, des terrains cultivés, puis la voie ferrée Grenoble - Veynes.

Ce vallon, en forme de U d'ouverture de 250 m au niveau de la chaussée autoroutière, a des flancs très escarpés, de pente supérieure à 1/1 et proche de 2 pour 1 sur le versant nord au droit du raccordement du viaduc.

L'ouvrage permet de relier le tunnel sous le Petit Brion à la tranchée autoroutière du plateau du Crozet. Le profond vallon de La Rivoire a été creusé par un torrent sous-glaciaire dans les marno-calcaires jurassiques, fournissant l'ossature des collines du Petit et du Grand Brion.

Le thalweg correspond au passage d'une faille majeure subverticale d'amplitude décakilométrique. La présence de cette faille explique le remplissage important du fond du vallon par des alluvions fluvio-glacio-lacustres pouvant atteindre dans la zone de surcreusement une centaine de mètres. Du point de vue de la sismicité, les expertises ont montré que cette faille pouvait être caractérisée comme non active.



Vue générale en plan du viaduc de La Rivoire
General view of La Rivoire viaduct in plan

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Dimensions

- Hauteur P2 : 34 m
- Hauteur P3 : 41 m
- Travée nord : 64 m
- Travée centrale : 113 m
- Travée sud : 70 m

Fondations

- Béton B35 : 4000 m³
- Coffrages : 15000 m²
- Armatures 690 t : 172 kg/m³
- Précontrainte 174 t : 44 kg/m³

Délai de réalisation

16 mois pour la mise à disposition des deux tabliers à la circulation de chantier

de La Rivoire

Bernard Deberle



CHEF DE DIVISION
VIADUCS A 51
Scetauroute

trale qui nécessite des longueurs minimales pour éviter l'apparition de réactions négatives sur les culées ;

◆ la forte inclinaison des versants qui exige de réduire au maximum la partie des travées de rive à construire par des procédés traditionnels nécessitant des appuis directs sur le sol.

Les piles P2 et P3, d'une hauteur moyenne de 40 m, permettent du fait de leur souplesse l'encastrement du tablier en tête, ce qui assure une bonne stabilité à l'ouvrage grâce au portique ainsi créé, les piles étant par ailleurs encastrees élastiquement dans le sol de fondation à l'aide de puits marocains ou de barrettes.

■ LA MODÉLISATION AU STADE DE L'AVANT-PROJET

L'ouvrage situé en zone sismique IB a été étudié selon les règles AFPS et le projet de norme NP06016. Les sols de fondation sont classés en deux types de site : sous les culées, le sol est de type S0, sous les piles, de type S2. Le spectre de dimensionnement sera donc l'enveloppe des spectres des deux sites.

Les calculs de stabilité générale de l'ouvrage ont été réalisés au moyen du programme de calcul HERCULE dans lequel la structure est représentée par un modèle à barre en trois dimensions. L'utilisation d'un tel programme est rendue nécessaire afin de tenir compte des effets du séisme qui peuvent s'appliquer dans les trois directions et des effets du vent qui sont essentiellement transversaux. Pour l'étude du fluage et de la construction par phases, le tablier est modélisé, encastree sur les piles, au moyen du programme BC. Au niveau des culées, l'ouvrage est considéré simplement appuyé dans les directions verticales et transversales. Ce blocage transversal sur culées permet de réduire les efforts transversaux à la base des fûts de pile ; les culées fondées directement sur le rocher pouvant reprendre, sans problème, l'effort transmis. D'autre part, du fait de cette disposition, la structure devient très hyperstatique vis-à-vis du séisme transversal, donc sa ductilité réelle augmente. Des redistributions d'efforts sont possibles et la résistance ultime réelle de la structure est augmentée. Les calculs ont été menés en prenant l'hypothèse suivante : les fondations des piles P2 et P3 sont encastrees dans le sol à un niveau -5,00 m par rapport au niveau du terrain naturel.

De par la méthode de construction, par encorbel-



Le tablier du viaduc de La rivoire
La Rivoire viaduct deck

© S. Chappaz

lements successifs, deux types de justifications des piles sont réalisés : en cours de construction du fléau (chute de vousoir ou d'équipage mobile et vent transversal) et en service sous surcharges routières et vent ou séisme.

■ LA CONSTRUCTION

Les fondations

Au droit des culées, hormis une frange d'altération dont l'épaisseur est limitée à 2 m, le substratum rocheux subaffleurant présente de bonnes caractéristiques mécaniques et permet de fonder superficiellement les chevêtres.

Leurs faces arrières ainsi que des murs garde-grève sont coulés pleine fouille, après confortement par clouage du talus vertical de déblai, dont le phasage de réalisation est le suivant :

- ◆ foration du massif rocheux, avec prédécoupage au nu arrière du garde-grève ;
- ◆ minage pleine hauteur (environ 5 m à l'arrière) ;
- ◆ déblai réalisé en trois phases, avec clouage à l'avancement et mise en œuvre d'un parement en béton projeté armé de treillis soudé. Ce parement est définitif dans la zone du vide central entre les deux ouvrages.

Au niveau des piles, compte tenu des caractéristiques relativement médiocres des terrains de couverture et de leur hétérogénéité, des fondations de type profondes sont retenues.

La topographie du toit de substratum rocheux prend la forme de falaise enterrée, risquant de conduire à des difficultés dans le cas de réalisation d'éléments de type parois moulées (déviation lors de l'excavation, ancrage difficile à réaliser). La solu-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

AREA - Société des Autoroutes Rhône-Alpes

Maitre d'œuvre

Scetauroute - Direction régionale Rhône-Alpes Bourgogne

Groupement d'entreprises

- Fougerolle Ballot (mandataire)
- Razel et Royans Travaux (cotraitants)

Sous-traitants

- Intramine (puits)
- Bachy (barrettes)
- La Chinonaise (pose des armatures)
- ATM (béton)
- Freyssinet (précontrainte)
- Pommier (palplanches)
- Europe Etudes Gecti (APOA)

Etudes

- Scetauroute (EPOA)
- Jean Muller International (APOA)
- CETE de Lyon (contrôle des plans d'exécution)

Le tablier en cours de construction

The deck under construction



© S. Chappaz



tion de type puits marocains est retenue, car elle permet une bonne maîtrise des terrains rencontrés et l'adaptation du niveau d'encastrement en conséquence. Chaque pile repose sur un puits unique de 5 m de diamètre, avec un encastrement d'un diamètre dans le rocher sain.

La technique de réalisation des puits est rudimentaire. Elle consiste à terrasser à l'avancement par passe de 1 m, au moyen d'une mini-pelle hydraulique ; les matériaux sont remontés à l'aide d'une benne d'environ 1 m³ hissée par un treuil installé en surface. Celui-ci, équipé d'une nacelle spécifique, autorise également le transfert du personnel. Pour stabiliser les parois de l'excavation, un soutènement provisoire – une virole béton armé de 30 cm d'épaisseur –, est réalisé à l'avancement, par passe de 1 m. Lorsque le rocher sain est rencontré, le minage est utilisé. Les plans de tir séquentiels permettent la déstructuration du sol. Sur la hauteur d'encastrement, un blindage léger (béton projeté) est mis en œuvre pour la protection du personnel contre les éventuelles chutes de pierres. Une fois le fond de l'excavation réceptionné, la cage d'armature préfabriquée (trois éléments selon la périphérie constitués chacun de deux éléments selon la hauteur) est mise en place.

Le bétonnage en B25P est réalisé en continu à la pompe à béton ; le personnel (vibration du béton - guidage de la manche de la pompe à béton) est positionné sur une plate-forme de travail hissée par un treuil spécifique (avec chevalement fixe en tête de puits) selon l'avancement du bétonnage.

L'hétérogénéité des sols a perturbé les travaux de réalisation des fondations des appuis P2. La rencontre d'un terrain altéré rocheux, avec parfois la présence de vides à partir d'une profondeur d'environ 10 m a, dès lors, nécessité l'usage d'explosif, sans pour autant permettre de s'affranchir de la mise en œuvre du blindage lourd. La combinaison de ces deux modes opératoires a ralenti les cadences d'exécution prévues : 1 ml/2 jours en terrain rocheux.

Les piles P2 se trouvant au pied du versant nord du thalweg de La Rivoire, l'aménagement de la plate-forme de travail pour le creusement du puits P2 a nécessité d'entailler ce versant sur environ 13 m

de hauteur, créant ainsi un talus subvertical conforté par clouage.

La réalisation des clous d'essais prévus au marché a mis en évidence la présence de vides dans le massif et a imposé l'exécution d'une campagne de reconnaissance complémentaire afin de définir les nouvelles hypothèses de dimensionnement de la paroi. Elles ont conduit à une nette augmentation des travaux de confortement. Lors des travaux de clouage, les vides rencontrés au moment de la foration sont remplis à l'aide de béton fluide, afin de permettre le scellement des clous.

Dans le but de prévenir tout mouvement de la paroi en phase d'excavation du puits P2 est, une instrumentation, extensomètres avec système d'alerte, est mise en place sur deux niveaux intermédiaires de la paroi.

Les fondations des piles P3 devant être réalisées à partir d'une plate-forme interférant avec le talus de la voie SNCF situé en remblai au pied du versant nord du massif du Grand Brion, le calage altimétrique de cette plate-forme doit intégrer deux contraintes importantes :

- ◆ limiter les déformations du talus SNCF lors de la réalisation des talus de déblai ;
- ◆ éviter les tassements de la voie SNCF dans le cas de la construction d'un remblai contigu de grande hauteur.

Compte tenu de la très faible compacité des matériaux constitutifs du remblai de la voie, un pré-soutènement des terrains est nécessaire avant toute opération de déblai. La réalisation d'un rideau de palplanches, avec soutènement par deux lits de tirants précontraints provisoires, a permis de limiter la hauteur des remblais et de s'affranchir de leur influence sur la voie existante.

Les sondages préalablement réalisés ont permis de détecter le substratum rocheux compact à des profondeurs très variables, de 35 m à plus de 60 m, et mis en évidence une augmentation de la pression limite en fonction de la profondeur dans les formations argileuses de couverture : argiles à graviers, puis argiles à blocs et calcaires marneux fracturés.

Ce contexte géotechnique a conduit à retenir des fondations profondes de type parois moulées de 3,00 x 1,02 m², au nombre de huit par pile, ancrées à une profondeur d'environ 25 m par rapport au fond du thalweg.

Lors de l'excavation de la première barrette de fondation de l'appui ouest, une vidange totale de la boue de forage est intervenue à la cote - 23 m correspondant à la zone de transition des éboulis très argileux avec petits blocs/éboulis argileux à gros blocs de calcaire marneux. Il nécessite un traitement provisoire par mise en place de grave ciment en fond de forage, suivi d'un nouveau remplissage de l'excavation avec de la bentonite pour stabiliser les parois. L'excavation de la première barrette de l'appui est s'est déroulée sans anomalie. Une cam-



© S. Chappaz

Piles 2 et 3 vues du plateau du Crozet

View of piers 2 and 3 from the Crozet plateau

pagne de sondages complémentaires sur l'appui ouest est réalisée. Une perte de boue intervenant lors de l'excavation d'une nouvelle barrette de l'appui est, une pré-injection de tous les pieds de barrettes est mise en œuvre : deux forages par barrette, avec enregistrement des paramètres en cours de forage pour déceler les éventuelles pertes d'eau et valider les caractéristiques des sols, puis injection en remontant le train de tiges sur une hauteur comprise entre - 2 m par rapport au fond de barrette et + 2 m par rapport à la zone présentant des pertes d'eau. La rapidité de décision et la mobilisation des différents intervenants ont permis d'arrêter une solution techniquement satisfaisante (aucun problème rencontré à la reprise des travaux d'excavation des barrettes), limitant ainsi les dérives de planning.

Les semelles de fondation

Les semelles permettent d'assurer la liaison entre les fondations et les piles. Leur dimension en plan est de $8,10 \times 5,50 \text{ m}^2$ pour P2, et $13,00 \times 9,00 \text{ m}^2$ pour P3, pour une épaisseur de 2,50 m.

Les piles

Les piles, en forme de diapason, sont constituées de trois alvéoles fermées en partie inférieure de 8 m de hauteur environ. Les deux fûts de la partie supérieure correspondent au prolongement des deux alvéoles extérieures. L'épaisseur des voiles est de 35 cm.

La dimension transversale des piles de 7,10 m est supérieure à la largeur de l'intrados du tablier (5,86 m). Les fûts dédoublés des piles remontent dans leur partie supérieure en "bossage extérieur", jusqu'à mi-hauteur du voussoir sur pile, matérialisant l'encastrement du tablier sur la pile.

Leur réalisation en béton B35 est classique, par levées successives d'environ 4 m, à l'aide d'un coffrage semi-grimpant. Le cycle complet de réalisation d'une levée est de deux jours, hors zone de dédoublement des fûts et des chevêtres de tête d'épaisseur 1,50 m, dont les coffrages perdus sont réalisés à l'aide de prédalles renforcées par des profilés supports métalliques en sous-face.

Les voussoirs sur piles (VSP)

D'une longueur de 8,50 m, leur réalisation en place est assurée par l'accouplement des deux équipages mobiles reposant sur des consoles provisoires fixées en tête de pile. Un coffrage extérieur spécifique est interposé entre les banches coffrantes des voussoirs courants, reculées dans cette phase à l'arrière des poutres porteuses longitudinales des équipages mobiles, permettant de coffrer le "bossage" latéral.

Devant la difficulté d'assurer en toute sécurité l'as-



Piles en construction
Piers under construction

© S. Chappaz

semblage en tête de pile des différents éléments longitudinaux, cette opération est réalisée au sol et est suivie de la mise en place à l'aide de la grue à tour implantée entre les piles. Après l'exécution du VSP, l'opération inverse est effectuée pour remettre en configuration "voussoirs courants" les équipages mobiles, préalablement à leur "hissage" à la grue à tour en extrémité des VSP. Ce levage concerne les trois pièces principales : les deux poutres porteuses longitudinales et les coffrages associés, puis le fond de moule en extrémités des VSP pour la réalisation des fléaux.

Le coffrage intérieur des VSP est un coffrage spécifique en bois.

Les VSP sont bétonnés en trois phases :

- ◆ les hourdis inférieurs, y compris la zone d'encastrement à la liaison pile-tablier ;
- ◆ les âmes et les entretoises transversales situées à l'aplomb des voiles des piles ;
- ◆ l'entretoise déviatrice et d'ancrage de la précontrainte extérieure, les goussets et les hourdis supérieurs.

La durée moyenne de réalisation d'un VSP, délai entre l'achèvement de la pile et la mise en place des équipages mobiles, après transformation pour démarrer les fléaux, est de dix semaines.

Les voussoirs courants

Les fléaux sont composés de seize voussoirs de 3,20 m de long côté travée centrale et de dix-sept côté travée de rive. Compte tenu de la difficulté à fonder le cintre nécessaire à la construction de l'extrémité des travées de rive (les versants étant très pentus), la technique du surencorbellement d'un voussoir côté culée est retenue.

Les voussoirs courants sont réalisés avec des équipages mobiles dits "par en dessous". Cette disposition permet de préfabriquer les cages d'armatures en deux parties (hourdis inférieurs et âmes, goussets et hourdis supérieurs). Les voussoirs courants sont coulés en une seule phase. Les bossages pour la précontrainte éclipse sont réalisés en même temps que le voussoir correspondant, alors que les entretoises déviatrices de la précontrainte extérieure le sont après, afin de ne pas perturber le cycle.

La durée des cycles par paire de voussoirs courants varie de 5 jours pour les quatre premiers

Travée en encorbellement
au 2/3 de son avancement

*Cantilevered section
two thirds across*



L'ATTRIBUTION DES TRAVAUX

A l'issue d'un appel de candidatures lancé à l'échelon européen, seize groupements ont reçu les dossiers de consultation pour présenter une offre. Celle-ci devait être entièrement conforme à la solution de base qui prévoyait, compte tenu des délais impartis pour la mise à disposition des deux tabliers :

- ◆ 4 paires d'équipages semi-grimpants de coffrage des piles ;
- ◆ 2 équipements semi-grimpants de coffrage des piles ;
- ◆ 2 coffrages de voussoirs sur piles.

Des variantes facultatives limitées étaient admises sur les points suivants :

- ◆ la modification de la technique de construction dans la mesure où les dimensions géométriques extérieures de l'ouvrage n'étaient pas sensiblement modifiées ;

- ◆ l'incidence sur les coûts et les délais en n'utilisant qu'un coffrage de voussoir sur pile et que deux ou trois paires d'équipage mobile ;

- ◆ le remplacement des puits marocains des piles P2 par des parois moulées sous réserve d'utilisation d'une machine de forage en continu sous boue de type haveuse de paroi.

A l'ouverture des plis, les variantes portaient principalement sur :

- ◆ les fondations : remplacement des puits marocains de P2 par du jet grouting et des barrettes de P3 par des puits marocains, ou des pieux PH battus ou du jet grouting ;
- ◆ les moyens pour la réalisation des piles et des fléaux (la limitation de ce moyen à deux paires d'équipage mobile et un coffrage de voussoir sur pile apporte une économie de 0,5 million de francs à 2 millions suivant les groupements) ;
- ◆ l'étanchéité du tablier, remplacement de la chape B3A par une chape mince.



grands voussoirs proches du VSP, à 3 jours pour les voussoirs de moindre hauteur.

La réalisation en surencorbellement du dix-septième voussoir des fléaux, côté culée, nécessite la mise en place d'un contrepoids côté travée centrale. Cette disposition permet de limiter les incertitudes géométriques : rotation et déplacement de la tête de pile en phase de déséquilibre des fléaux.

Les travées de rive sur cintre

Du fait de la dissymétrie des longueurs des travées de rive, l'étalement côté C1 se limite au voussoir sur culée (VSC) et à l'amorce du caisson. Côté C4, l'étalement doit permettre de réaliser le voussoir de culée et deux voussoirs de hauteur constante, soit une longueur d'environ 8 m par rapport à l'axe d'appui. La pente naturelle du talus, voisine de 1/1, rend sa réalisation plus délicate.

Les voussoirs de clavage

Les voussoirs de clavage sont réalisés à l'équipage mobile, côté travées de rive dans une première phase, suivis du clavage en travée centrale.

La précontrainte

Réalisée à l'aide d'unité 9T15S, la précontrainte de fléau – une paire de câbles par paire de voussoirs – est logée dans les goussets supérieurs du caisson. Des plaques d'about préfabriquées (Ø 420 avec fretage périmétrique sur une épaisseur de 150 mm) permettent d'envisager les mises en tension à 80 MPa. Il convient de noter que les coefficients de transmission mesurés lors des mises en tension ont permis de constater des pertes très faibles, du fait de l'utilisation de conduits habituellement réservés aux unités 12T15 gaines feuillard (Ø 80 int.). La précontrainte éclipse de clavage est constituée de câbles 12T15S, ancrés dans des bossages situés au niveau des goussets inférieurs côté travées, et à l'extrémité des voussoirs côté culées (travées de rive). La précontrainte de continuité remplaçable est composée de câbles 19T15S. Ceux-ci, protégés par des gaines en polyéthylène haute densité, sont injectés au coulis de ciment.

Ils traversent les entretoises béton (VSC, VSP et voussoirs déviateurs en travées), à l'aide d'un double gainage en tubes galvanisés, évasés à leur sortie. Des ancrages et tubes déviateurs sont laissés en place pour l'éventuelle mise en place ultérieure d'une paire de câbles additionnels.

Les équipements

Les ouvrages sont équipés de dispositifs de sécurité Tetra S13 ; les rives de tablier reçoivent des corniches-bandeaux en point haut de dévers. Les deux rives extérieures du viaduc sont surmontées d'écrans acoustiques incurvés de 2 m de hauteur qui prolongent la voûte du tunnel adjacent ; ces écrans sont équipés en partie supérieure d'un éclairage latéral de guidage

Le pas d'implantation des équipements (dispositifs de sécurité, écrans acoustiques, avaloir $e = 10$ m dans les longrines de rive) a conduit à retenir dès le DCE une longueur de corniche de 5 m. Elle peut "loger" les deux plots de béton armé nécessaires à leur fixation provisoire par l'intermédiaire de rails noyés dans le hourdis supérieur, avant bétonnage de la longrine support des équipements. Nécessitant un coffrage de longueur importante pour de tels éléments (la longueur habituelle est de 2,50 m), et conduisant à un poids unitaire élevé (proche de 4 t pour les corniches caniveaux), cette disposition permet d'avoir une cadence de pose plus élevée et présente un bon fini esthétique (réduction du nombre de joints).

Les appareils d'appuis sur culées sont de type appuis à pot multidirectionnel, le blocage transversal étant assuré par des butées parasismiques implantées en bord extérieur des âmes de voussoir de culées. Ces butées sont constituées d'un massif béton armé ancré sur le chevêtre de culée, supportant latéralement une plaque de glissement en inox avec vis-à-vis fixé sur un bossage ancré au VSC, un bloc Néoprène ("adhérisé" sur une plaque de fixation métallique) revêtu de téflon côté surface de glissement.

La jonction tunnel - viaduc

Le traitement "en sifflet" de l'extrémité des têtes de tunnel empiète sur l'extrémité des viaducs. Ainsi des coques en béton, préfabriquées à joints conjugués par élément de 2,50 m, sont mises en place à l'avant du mur de garde-grève sur une longueur de 13 m. Leur section reprend la continuité des tubes des tunnels, alors que leur coupe est tracée selon une ellipse. Ces coques sont ancrées sur des murs longitudinaux parallèles aux âmes des caissons ancrés sur le chevêtre de culée, la partie en console étant reprise par une précontrainte longitudinale (barres de précontrainte Ø 32). Les premières difficultés liées à la présence d'opposants passées, les travaux de construction du



© J.-M. Huron

Panoramique du viaduc et têtes du tunnel du Petit Brion

View of viaduct and Petit Brion tunnel heads

viaduc de La Rivoire ont démarré en juillet 1995 et se sont achevés en novembre 1996 permettant ainsi le passage des engins de terrassement (*dumpers* CAT 769). Une voie de circulation centrée sur chaque tablier est aménagée, la chaussée provisoire étant constituée d'une couche de 15 cm de concassé 0/31,5 sur un géotextile posé directement sur le béton et remontant sur les dispositifs de sécurité. Le guidage latéral est assuré par la présence à l'aplomb des âmes des caissons de GBA préfabriquées surmontées de lisses glissières. L'interdistance à respecter par les engins est de 100 m. Les problèmes techniques rencontrés, principalement au niveau des fondations, ont conduit à une dérive du planning contractuel d'environ un mois et demi.

La technique de construction par encorbellement successifs à l'équipage mobile, avec ici surencorbellement, s'est avérée bien adaptée à la brèche à franchir, sans aléas particuliers.

ABSTRACT

The La Rivoire viaduct

B. Deberle

The La Rivoire viaduct, a structure involving various technical requirements of a specific nature, provides a link between the Petit Brion tunnel and the Crozet plateau.

It crosses the combe linking the Gresse valley (in the west) to the Drac valley (in the east) between the Petit and Grand Brion mountain formations (respectively in the north and south). The structure is made up of two curved parallel decks (1,000 m radius in plan). The decks are supported by two tuning-fork-shaped piers 34 and 41 m high. The viaduct has a constant slope of 4.8 % towards the south.

RESUMEN ESPAÑOL

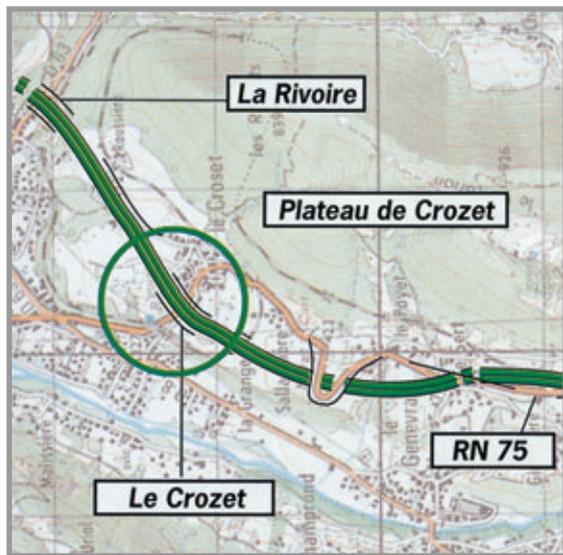
El viaducto de La Rivoire

B. Deberle

El viaducto de la Rivoire, estructura cuyos imperativos técnicos son de diversa índole, permite las comunicaciones entre el túnel del Petit Brion y la planicie de Le Crozet.

Este viaducto salva la cañada que pone en comunicación el valle del Gresse (por el oeste) con el valle del Drac (por el este), entre los macizos del Petit y del Gran Brion (respectivamente al norte y al sur). Este viaducto consta de dos tableros paralelos en curva (radio en planta de 1000 m). Los tableros toman apoyo sobre dos pilares en forma de diapason de 34 y 41 m de altura. El viaducto se desarrolla en declive constante de 4,8 % hacia el sur.

Les viaducs du Deux ponts en arc



Plan
de situation
Location

Les deux viaducs du Crozet, de 348 et 364 m de long se caractérisent par leur extrême finesse et leurs arcs en béton armé (un pour le viaduc est trois pour le viaduc ouest). Ces caractéristiques, conjuguées à la prise en compte du risque sismique, ont conduit à de très fortes densités d'armatures et à l'emploi de béton haute performance. En outre, la nature du sol a nécessité de créer les conditions d'appuis propices à la reprise des efforts importants provenant des arcs.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Campenon Bernard SGE
- Campenon Bernard Régions
- Valérian

Pour franchir le thalweg du Crozet, l'architecte s'appuyant sur la présence dans le site d'un viaduc SNCF multiarche en maçonnerie, a imaginé une progression géométrique d'arcs, l'autoroute franchissant la RN 75, puis le thalweg, grâce à un double viaduc constitué de

deux ponts en arc. Le premier (viaduc est) est soutenu par un arc unique et le second (viaduc ouest) s'appuie sur trois arcs et des piles plus rapprochées.

LES OUVRAGES

Le marché des viaducs du Crozet inclut les ouvrages suivants :

- ◆ le viaduc est d'une longueur de 348 m comportant un arc de 140 m d'ouverture, encadré de part et d'autre de 2 x 5 travées d'une vingtaine de mètres;
- ◆ le viaduc ouest d'une longueur de 364 m, dont les trois arcs ont des ouvertures respectives de 87, 101 et 102 m, et auxquels s'ajoutent quatre travées de 18 m environ;
- ◆ les ouvrages de franchissement de la voie SNCF situés dans le prolongement de chaque viaduc, séparés de ces derniers par un remblai d'une soixantaine de mètres. Ils comportent cinq travées et ont une longueur identique de 100 m;
- ◆ un remblai d'environ 25 m de haut, situé au sud des viaducs et les séparant des ouvrages SNCF;
- ◆ enfin, un remblai contigu au sud des ouvrages SNCF.

Les tabliers des quatre ouvrages sont de forme identique, prévus pour trois voies de circulation, et d'une largeur totale de 14 mètres, corniches comprises.

LA CONCEPTION GÉNÉRALE

La conception générale doit intégrer les hypothèses suivantes :

- ◆ un sol constitué de marnes fluvioglaciales nécessitant de créer des conditions d'appuis capables de reprendre à la base de chaque arc, les poussées verticales et horizontales (environ 5000 t chacune). Cette contrainte, conjuguée au choix architectural d'ouvrage entièrement en béton, im-

pose – pour limiter les efforts – des structures aussi fines que possible. La forme peu prononcée de la vallée a conduit à prévoir au sud des deux viaducs un important remblai destiné à en accentuer le profil ;

- ◆ un risque sismique (la zone est classée 1B) ;
- ◆ une pente longitudinale d'environ 60 %.

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Très tôt il s'est avéré que l'ensemble des contraintes (sol, finesse des structures, séisme...) conduisaient à de grandes difficultés de dimensionnement pour respecter au plus près le projet architectural. Quelques points méritent d'être développés :

- ◆ le calcul des raideurs de fondations. Le cahier des charges imposait que soient associées une étude en élasticité et une étude en élasto-plasticité. Ces deux calculs ayant donné des résultats divergents, il a fallu les adapter afin de les rendre cohérents ;
- ◆ le dimensionnement des sections de vérinage. Les premiers calculs de flexion longitudinale ont montré que les sections de vérinage situées à la base des arcs étaient sous-dimensionnées dans le projet initial. Il fallait donc les modifier, tout en prenant soin d'altérer au minimum l'aspect architectural ;
- ◆ la définition des hypothèses de sol. A prendre en compte pour dimensionner les massifs d'appuis et les arcs de fluage du sol, selon que l'on considérait qu'il intervenait à court, moyen ou long terme, générant en effet des variations très importantes. De même, en fonction d'une hypothèse de comportement du sol "plutôt souple", ou "plutôt raide", la géométrie de construction des arcs évoluait de plusieurs centimètres ;
- ◆ les calculs sismiques. La coexistence de la nouvelle réglementation sismique avec les autres règles de calcul en vigueur a conduit, d'une part à des incompatibilités qu'il a fallu résoudre par certaines adaptations des règlements et, d'autre part, à des densités d'armatures extrêmement élevées (jusqu'à 450 kg/m³) nécessitant des dispositions de ferrailage particulières et contraignantes.

LES VÉRINAGES

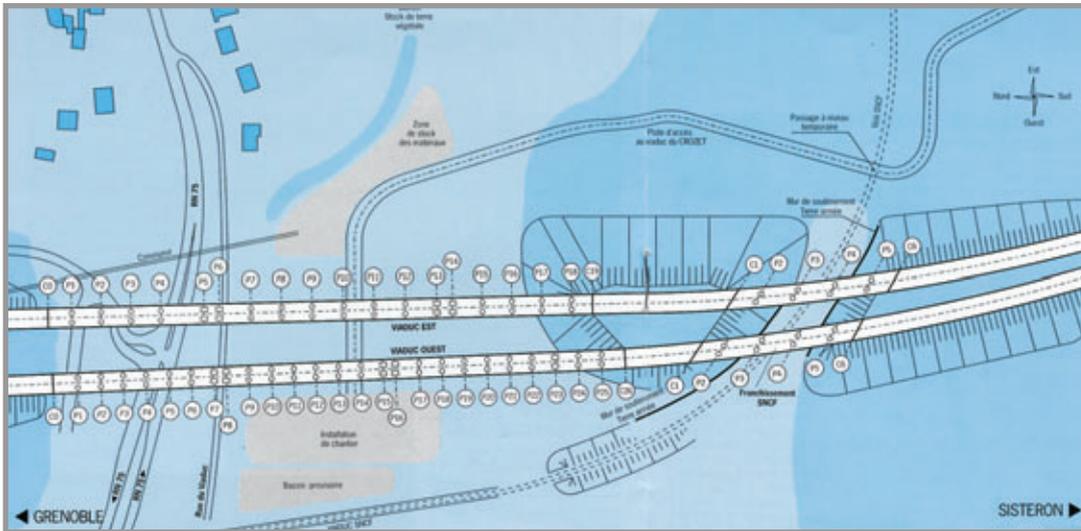
Les ouvrages béton en arc doivent être vérinés – à certaines phases de leur construction – afin de permettre aux arcs de reprendre leur poids propre, puis

Crozet

Gilles Vanbremeersch



**DIRECTEUR
DES TRAVAUX
Campenon Bernard SGE**



**Vue en plan générale
des viaducs du Crozet
et du franchissement SNCF**

**General plan view
of Crozet viaducts
and railway crossing**

celui du tablier au fur et à mesure de la réalisation de ce dernier. Habituellement, cette opération est mise en œuvre à l'aide de vérins placés à la clé de l'arc. Ceci présente l'avantage d'ancrer l'arc à ses massifs de fondations, et autorise le vérinage en un point unique. La nature du sol dans le site du Crozet et les incertitudes sur son comportement dans le temps incitèrent les concepteurs à envisager un possible revérinage des arcs – en cas, par exemple, de tassements importants au cours de la vie de l'ouvrage. Les sections de vérinages furent ainsi placées aux naissances des arcs afin d'en faciliter l'accès.

Cette option implique toutefois un doublement des zones de vérinage (avec les inhérentes complications structurelles), et impose que les arcs ne soient pas ancrés dans leurs fondations. Ce qui, et notamment pendant la phase de construction, ne fut pas sans créer des difficultés supplémentaires.

■ LE BÉTON

La finesse des structures et les efforts engendrés par un ouvrage entièrement en béton exigent la mise en œuvre, en complément d'un ferrailage très dense, d'un béton haute performance (type B60) dans la totalité des ouvrages à l'exception des fondations (B35). La mise au point de ce béton a été délicate en raison de la multiplicité des exigences requises :

- ◆ béton de type "fluide" dans les arcs et les piles pour en faciliter la mise en place dans ces zones extrêmement ferrillées, et souvent coffrées sur toutes les faces ;
- ◆ béton "plastique" dans les tabliers, imposé par la pente (environ 6 %) de ces derniers ;
- ◆ faible exothermie afin de limiter les risques de fissuration dus au retrait, certaines parties d'ouvrage comme les naissances d'arcs étant très massives ;
- ◆ maintien de la rhéologie pendant deux heures



**Tablier en cours
de construction**

**Deck
under construction**

© S. Chappaz

après la fabrication, les bétonnages étant souvent très lents à cause de la forme des plots.

Le respect de toutes ces spécifications, souvent contradictoires, n'a pu être obtenu que grâce à l'apport de fumée de silice (permettant de limiter le dosage en ciment) et à l'utilisation d'un super plastifiant (optima 100) disponible depuis peu.

■ LA RÉALISATION

Au niveau des fondations, la nature du sol a imposé de créer des conditions d'appui en pieds d'arc, compatibles avec les efforts engendrés. L'entreprise a proposé une variante sous la forme de "puits marocains" à la place des caissons de parois moulées prévus à l'appel d'offres.

Les fondations des arcs sont ainsi constituées de puits elliptiques de 13 m x 10 m x 10 à 15 m de profondeur selon les cas. La technique du puits marocain a permis de réaliser l'excavation sans décompresser le terrain adjacent, condition impérative pour écarter tout risque de déplacement sous l'effet des poussées horizontales provenant des arcs.

Cette technique consiste à excaver le sol par passes de hauteur réduite (1 m dans le cas présent), et à



© S. Chappaz

**Tablier
en cours de construction**

**Deck
under construction**

le blinder immédiatement pour limiter au maximum sa décompression. Le blindage est assuré par des viroles béton tronconiques, de 30 cm d'épaisseur, coulées en place à l'aide d'un coffrage articulé. Le cycle terrassement-blindage doit impérativement être exécuté dans la journée.

Le terrassement est réalisé au moyen de deux pelles : l'une, CAT 325 à bras télescopique équipée en benne preneuse. Placée en tête du puits elle évacue les déblais, tandis que la seconde (Case 488/9T) demeure en permanence au fond de l'excavation, afin de terrasser au moyen d'un godet la partie centrale et d'une fraise pour la finition périphérique. La nature du terrain, relativement tendre, mais de bonne cohésion, ainsi que l'absence de venues d'eau notables, ont permis la réalisation des six puits (deux Est et quatre ouest) dans les conditions prévues, au rythme d'environ un puits toutes les trois semaines.

Après achèvement de l'excavation, les puits sont équipés de dispositifs nécessaires aux injections de clavage prévues en périphérie, afin d'assurer un parfait contact sol-blindage. Le bétonnage peut alors intervenir sous forme de radier de 2 m de haut, puis de voiles de 2,2 m d'épaisseur. Ces parties sont fortement ferrillées (environ 100 kg/m³). Le noyau central résiduel est alors remblayé, mais sans nécessité de compactage.

Suivent ensuite les injections périphériques : les faibles quantités mises en œuvre pour chaque puits confirment la bonne cohésion du sol et valident la méthode retenue pour ces fondations.

Les autres appuis des viaducs sont fondés de manière plus classique, sur des pieux forés. Les piles et les culées reposent ainsi respectivement sur quatre et deux pieux de 1,2 m de diamètre, dont la profondeur varie entre 8 et 20 m. Au total on en dénombre 48 pour les viaducs et 32 pour les ouvrages SNCF.

■ LES APPUIS

Les piles et pilettes sont de deux types. Les piles situées sur les naissances d'arcs, connectées aux tabliers par des appareils d'appui fixes et faisant transiter de ce fait des efforts importants, ont une section rectangulaire (2,2 m x 1,0 m) et sont rigidifiées entre elles par une entretoise. Leur hauteur varie de 24 à 30 m. Les autres piles et pilettes sur arcs, munies d'appuis à pot multi ou monodirectionnel sont de section très réduite (1 m de diamètre) comparativement à leur hauteur (jusqu'à 20 m).

Face à la densité d'armatures qui n'autorise aucun recouvrement ni même manchonnage, il fut nécessaire de préfabriquer les cages d'armatures sur toute la hauteur des piles (jusqu'à 18 m) et de les mettre ainsi en place avant toute opération de coffrage. Ceci impose, d'une part l'utilisation de moyens

de levage spécifiques – les poids des cages dépassant les capacités des grues à tour – et d'autre part des dispositifs de maintien (bridage ou haubanage) temporaire des armatures. Les piles sont ensuite réalisées à l'aide d'un coffrage semi-grimpant par levées quotidiennes de 3,50 m (piles circulaires) ou 3,70 m (piles rectangulaires).

Les culées sont de conception classique. Elles se singularisent toutefois en tête de mur garde-grève par un coin fusible destiné à "sauter" en cas de déplacement important sous sollicitation sismique.

■ LES ARCS

Spécificité des viaducs du Crozet, les arcs sont constitués de deux membrures d'inertie variable (largeur constante : 1,2 m, mais hauteur variable de 3,6 m à la naissance à 1,8 m à la clé), reliées à la base de chaque pilette par des entretoises assurant la rigidité transversale. Ces membrures prennent appui sur des massifs communs ancrés dans les fondations (puits marocains), en recevant les vérins dans des niches prévues à cet effet. Des câbles de précontrainte reliant les massifs aux arcs sont également mis en place pour éviter le soulèvement des sections d'appui. La réalisation de ces arcs est ainsi compliquée par :

- ◆ une géométrie non répétitive (chaque arc est différent des autres) ;
- ◆ un ferrailage très dense ;
- ◆ l'absence d'ancrage à leur base en phase de construction.

Les huit naissances d'arcs sont toutes différentes les unes des autres : leur volume varie de 130 à 210 m³ et leur inclinaison de 25° à 54°. Très ferrillées, elles s'apparentent à des massifs de 7 m de large sur une hauteur pouvant atteindre 7,5 m. Leur forme impose qu'elles soient bétonnées en une phase afin d'assurer leur monolithisme : une reprise de bétonnage serait très difficile à bien traiter en raison de sa surface et de la densité d'armature. Les tubes de précontrainte les traversent, en outre, de part en part.

Leur réalisation est délicate par le ferrailage très dense, les problèmes d'accessibilité, les fortes poussées de béton dans les coffrages et les difficultés de mise en place du béton et de vibration. Initialement, les arcs devaient être réalisés à partir d'un platelage général reposant sur un étaielement traditionnel. Ils étaient alors exécutés par plots, demi-arc après demi-arc. Rapidement, il s'est avéré que cette méthode était très pénalisante en terme de planning (les opérations de montage et de démontage de tels étaielements étaient très longues) et que les tassements devant évidemment être limités au maximum, il aurait été nécessaire de prévoir des fondations provisoires extrêmement conséquentes ; en outre la prise au vent de tels étaielements (100 à 140 m de long par 20 m de haut)

était également importante. L'entreprise s'est donc orientée vers une solution innovante, proposée par le bureau d'études SEMI, qui prévoyait un étaie- ment constitué de grandes palées entretoisées entre elles, permettant ainsi un nombre limité de points d'appui, donc de pieux provisoires, une prise au vent réduite et une préfabrication maxi- mum, donc des poses et déposes beaucoup plus rapides.

Sur cet étaie- ment, SEMI a conçu – en liaison avec le bureau des méthodes de l'entreprise –, des équi- pages mobiles permettant la réalisation succes- sive de deux plots de 11 m de long, au lieu d'un platelage général.

Ces équipages, placés initialement aux extrémités des arcs, sont déplacés sur l'étaie- ment à l'aide de vérins et prennent appui sur des rotules bloquantes qui permettent de reprendre les pentes variables des arcs. Ainsi, tous les deux plots, les équipages, de 28 m de long chacun, sont avancés afin de per- mettre la réalisation des plots suivants. Durée de l'opération : environ 1,5 jours.

Cet outil, rapidement mis au point, a bien fonc- tionné et permit la réalisation de l'arc du viaduc est en quatre mois et celle des trois arcs de l'ouest en moins de sept mois.

Les entretoises sont également exécutées à partir des équipages, dès le décoffrage du plot auquel elles se rattachent.

Les arcs doivent être vérinés en cours de construc- tion. Dans le cas des ouvrages du Crozet, quatre opérations de vérinage sont mises en œuvre pour chaque arc :

- ◆ à l'issue du bétonnage du plot de clavage, en vue du décintrement ;
- ◆ après réalisation des pilettes sur arc ;
- ◆ en cours d'avancement du tablier sur l'arc concer- né ;
- ◆ enfin, après complet achèvement du tablier et des superstructures.

Chaque vérinage est effectué à l'aide de seize vérins (huit à chaque section de vérinage) d'une capacité unitaire de 500 à 1 000 t selon les arcs, reliés à deux centrales électriques. Une instru- mentation complète est mise en œuvre (inclinomètres, capteurs de déplacements, de pression et de température, prismes, station "topo" motori- sée...) pour analyser en temps réel le comporte- ment de l'arc.

Toutes les données enregistrées sont visualisées à l'aide d'un logiciel d'acquisition. Les déplace- ments observés sur les arcs et sur les massifs sont ainsi comparés, au fur et à mesure des montées en pression, aux données des calculs d'une part pour en vérifier la conformité, et d'autre part – à l'occasion du premier vérinage – pour mieux appréhender le comportement du sol. Ce dernier s'est avéré très raide, ce qui est rassurant pour la pé- rennité des ouvrages car les phénomènes de flua- ge du sol à long terme devraient être limités.



Etaie- ment de l'arc en cours de mise en œuvre
Arch support during construction

© S. Chappaz



Puits marocain elliptique
Shaft for a pier foundation

© S. Chappaz

■ LES TABLIERS

Les tabliers des quatre ouvrages ont une largeur de 13 m ; la sous-face s'inscrit dans un arc de cercle, de sorte que leur épaisseur atteint 75 cm au centre et 30 cm aux extrémités.

Ils sont précontraints longitudinalement au moyen de câbles 12T15S, continus dans les ouvrages SNCF, et se recouvrant de plots en plots (ancrages en extradossés) dans le cas des viaducs.

Les tabliers des deux ouvrages SNCF sont chacun exécutés en une phase (830 m³) au moyen de cintres prenant appui sur des palées reposant sur les semelles de piles.

Les tabliers des viaducs sont découpés en plots correspondant aux travées, la longueur de chaque plot variant de 13 à 29 m, pour un volume de 120 à 250 m³. L'entreprise décida de les réaliser avec des cintres autolanceurs dont le fonctionnement s'apparente à celui des équipages d'arcs. Leur conception a été confiée au bureau d'études SEMI. Celui-ci a repris le principe de grandes palées (s'appuyant soit au sol, soit sur les arcs) sur lesquelles les équipages longs de 30 m (un à chaque extré- mité du tablier) se déplacent à l'aide de vérins prenant appui sur les poutres sablières en tête des palées. Ces équipages sont constitués de trois pla- teaux pour permettre le franchissement des appuis à l'avancement.

Sur le viaduc est, le tablier est bétonné à partir de chaque culée, de part et d'autre de l'arc pendant sa réalisation. Une fois ce dernier achevé et vériné, la progression des plots sur l'arc s'effectue de façon symétrique jusqu'au clavage. Dans le cas du viaduc ouest, la nécessité de charger les arcs sy-

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Fondations

- Béton B25P puits : 4 800 m³
- Béton B25F pieux : 900 m³
- Armatures : 390 t

Appuis

- Béton B35 : 1 600 m³
- Béton B60P : 1 850 m³
- Coffrages : 6 600 m²
- Armatures : 450 t

Arcs

- Béton B60 fluide : 3 800 m³
- Coffrages : 9 000 m²
- Armatures : 530 t

Tabliers

- Béton B60 plastic : 6 000 m³
- Coffrages : 9 300 m²
- Armatures : 540 t
- Précontrainte : 200 t



© J.-M. Huron

**Le viaduc ouest
(3 arches) achevé**
**West viaduct
(three arches)
completed**



métriquement au fur et à mesure de leur réalisation impose un phasage plus délicat : les deux équipages sont également installés initialement sur chaque culée, puis ils effectuent chacun plusieurs allers-retours au-dessus des deux arcs extérieurs, avant de se rejoindre au-dessus de l'arc central, exécuté en dernier.

Le tablier du viaduc est réalisé entre septembre 1997 et mai 1998, tandis que celui de l'ouest, commencé en mai 1998 s'achève en novembre de la même année.

■ LES SUPERSTRUCTURES ET LES ÉQUIPEMENTS

Les quatre ouvrages sont équipés de corniches béton (bandeau côté intérieur et caniveau côté extérieur). Ces corniches sont préfabriquées par éléments de 5 m, puis scellées dans le tablier par une longrine en béton B35 G + S. À l'extérieur des corniches caniveaux est fixé un écran antibruit transparent.

Les tabliers sont revêtus d'une étanchéité (complexe haute cadence), puis de la chaussée. Les joints de chaussées (souffle 180 mm) sont situés au droit de chaque culée.

Les viaducs du Crozet constituent des ouvrages exceptionnels à bien des égards.

Tout d'abord en raison de leur finesse qui a conduit à la mise en œuvre de bétons hautes performances et de ferraillements de densités très élevées.

Par ailleurs, l'absence de répétitivité des structures (arcs de portées et d'épaisseurs variables et travées de longueurs différentes), la nature du sol, ont imposé des solutions techniques délicates (puits marocains, vérinages en pieds d'arcs, géométrie de construction...).

Enfin, il a fallu mettre au point des outils de construction innovants capables d'assister au mieux les ambitions architecturales.

ABSTRACT

The Crozet viaducts. Two arch bridges

G. Vanbremeersch

The two viaducts of Crozet, 348 and 364 m long, are characterised by their extremely slim design and their reinforced concrete arches (one for the east viaduct and three for the west viaduct). These characteristics, combined with earthquake-resistant requirements, have led to very high reinforcement densities and to the use of high-performance concrete. In addition, the nature of the soil has called for the creation of supporting conditions capable of handling enormous forces generated by the arches.

The Campenon Bernard group, awarded the contract, had to employ unusual or innovative technologies, such as large Moroccan wells, travelling formwork moving along an arch-shaped support, or arch jacking operations at the base. These methods, sometimes at the limit of feasibility, made it possible to obtain structures of outstanding technical design.

RESUMEN ESPAÑOL

Los viaductos de Le Crozet. Dos puentes en arco

V. Vanbremeersch

Los dos viaductos de Le Crozet - de respectivamente 348 y 364 m de longitud - se destacan por su extraordinaria esbeltez y sus arcos de hormigón armado (uno para el viaducto este y tres para el viaducto oeste). Estas características, combinadas con la necesidad de tener en cuenta el riesgo sísmico, ha dado lugar a muy elevadas densidades de armaduras y al empleo de hormigón de elevadas características. Además, la naturaleza del suelo ha precisado crear las condiciones de apoyo propicias para la transmisión de los importantes esfuerzos procedentes de los arcos.

El grupo de empresas Campenon Bernard, titular del contrato, ha tenido que recurrir a tecnologías desacostumbradas o innovadoras, como, por ejemplo, los pozos marroquíes de grandes dimensiones, equipos móviles que se desplazan sobre un apuntalamiento en forma de arco, o bien operaciones con empleo de cilindros hidráulicos de los arcos implementados en la base de estos últimos. Estas metodologías, en ciertos casos aplicadas en los límites de la factibilidad, han permitido ejecutar estructuras que se destacan por su tecnicidad.



Les tunnels d'Uriol et du Petit Brion

Les travaux de génie civil

Le creusement de ces tunnels s'est déroulé dans un environnement particulièrement sensible qui a imposé l'interdiction des travaux bruyants la nuit, le contrôle et le traitement des eaux de rejet et la limitation des tirs aux têtes. En outre les tunnels ont été utilisés pour le transport des matériaux des terrassements extérieurs.

Les tunnels d'Uriol et du Petit Brion assurent respectivement le contournement autoroutier des agglomérations de Varcès et de Vif. Le tunnel d'Uriol, de 400 m de longueur creusée, comprend deux tubes à trois voies de circulation chacun, libérant un gabarit en hauteur de 4,50 m sur 11,50 m de largeur. Son tracé en plan est défini par un rayon de 1000 m et son profil en long est en pente continue ascendante de 0,3 % de Grenoble vers Sisteron. Les axes des tubes sont distants de 30 m.

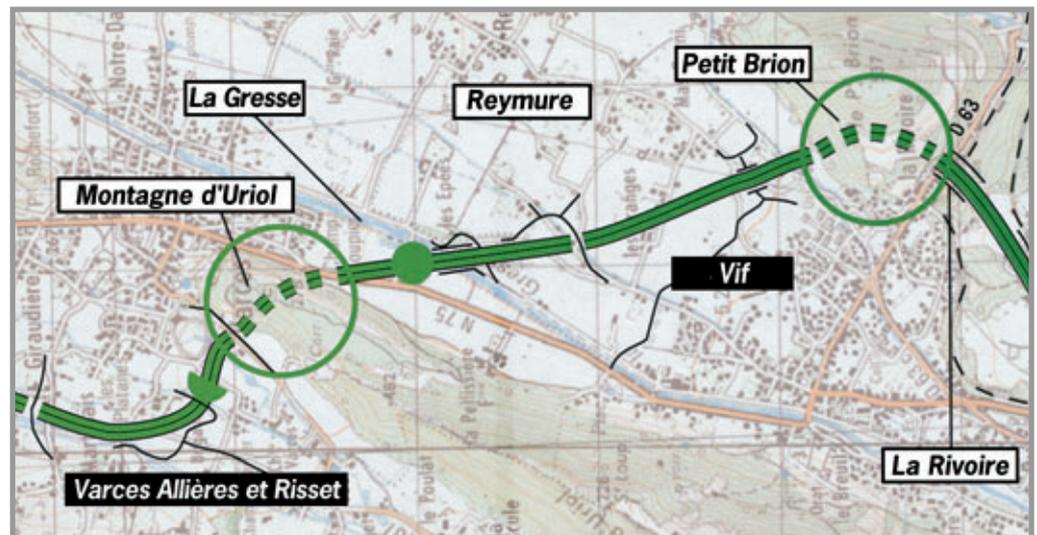
Le tunnel du Petit Brion comprend lui aussi deux tubes à deux voies de circulation d'une longueur creusée de 500 m. Le gabarit de 4,50 m est dégagé sur 8,50 m de largeur. Le tracé en plan comprend également une courbe de 1000 m. La pente ascendante en profil en long de 4,8 % de Grenoble vers Sisteron permet à l'autoroute de s'élever vers le plateau du Crozet.

Les tunnels sont rendus étanches par feuilles PVC en extrados, et revêtus de béton coffré. Ils comprennent chacun un *by-pass* central et des niches de sécurité associées à des niches incendie espacées de 200 ml. Ils sont éclairés. Un avaloir continu à fente, associé à des regards siphoniques coupe-feu, assure le recueil des liquides éventuellement enflammés. L'écoulement du trafic est surveillé par caméras vidéo, équipées de la détection automatique d'incidents.

A leurs extrémités, les tubes se prolongent par des têtes bétonnées à l'air libre dont le remblaiement assure l'insertion dans le site et, sur la tête nord d'Uriol, permet le rétablissement de la RD 107. La tête sud du tunnel du Petit Brion est un ouvrage particulier situé à l'interface entre le tunnel et le viaduc de La Rivoire dont il intègre les culées.

■ LA GÉOLOGIE

Le tunnel d'Uriol recoupe l'extrémité nord de la montagne dont il porte le nom, sous une couverture d'une centaine de mètres. Elle est constituée de



Plan de situation
Location

terrains calcaires du Jurassique supérieur présentant un pendage marqué de 50° environ vers l'ouest. Les flancs de la montagne sont recouverts par des alluvions de la plaine de la Gresse à l'est et du Lavanchon à l'ouest.

Le tunnel du Petit Brion traverse sous faible couverture un petit massif appartenant à la série Jurassique des "collines bordières" plaquées contre les massifs cristallins de Belledonne et La Mure. Les terrains traversés, qualifiés de calcaires marneux gris sombre, sont en fait des calcaires quartzo-argileux qui ont subi un début de métamorphisme lors de l'orogénèse alpine. La dénomination de "schistes calcaireux" paraît plus appropriée. La structure est monoclinale très régulière en direction (N 30°) dont le pendage est de 75° vers l'ouest. Les résistances mécaniques observées impliquent un déroctage à l'explosif.

■ LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

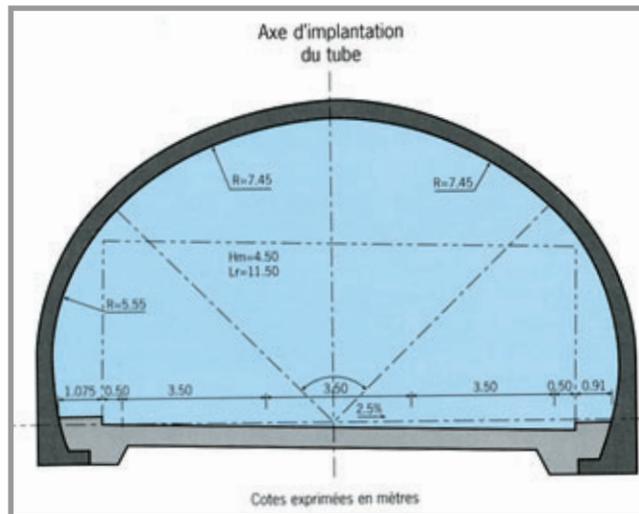
Ces travaux d'accès aux quatre têtes de tunnel comprennent des terrassements, du minage, des soutènements par béton projeté et ancrage scellés. Ils ont été réalisés durant l'année 1995. La mise en sécurité des plates-formes d'entrées en galerie a nécessité la mise en œuvre d'un important linéaire de filets pare-blocs haute énergie, no-



Préparation des accès
aux têtes de tunnel
Preparation of access
to tunnel heads

Tunnel d'Uriol :
profil en travers type
d'un tube

Uriol tunnel :
typical cross-section
of a tube



Le Robofore
The Robofore

© S. Chappaz



tamment sur les têtes d'Uriol. Les terrassements et soutènements de la tête sud du Petit Brion s'inscrivent dans un versant escarpé, surplombant la RD63 bordée de propriétés bâties, ce qui a imposé la réalisation préalable d'une piste d'accès dans des conditions particulièrement difficiles. Ces travaux, perturbés un temps par les opposants au projet, ont été achevés au printemps 1996.

■ LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Les contraintes découlent de l'environnement humain et naturel des ouvrages à réaliser. Le tracé contourne les agglomérations de Varcès et de Vif mais en restant aux abords immédiats de celles-ci. Les plates-formes d'attaque des deux tunnels sont situées à proximité des habitations, c'est-à-dire une centaine de mètres pour Uriol sud et deux cents mètres pour Petit Brion nord. Aussi, pour préserver la quiétude des habitants, il a été décidé de limiter l'activité du chantier à la période 7 h 00 - 19 h 00 pour les vingt premiers mètres de creusement. Au-delà une activité nocturne était autorisée en dehors du tir et du marinage. Il convient de souligner le caractère très contraignant de ces dispositions qui excluent une activité continue. Afin de minimiser l'impact sonore des travaux dans la journée, des protections acoustiques, murs et merlons ont été mis en place le long des pistes ou des plates-formes de travail.

Par ailleurs, le tracé entre les deux tunnels traverse la plaine de Reymure qui, entre le torrent de la Gresse et le mont du Petit Brion, est classée périmètre de protection des captages d'alimentation en eau potable de Grenoble. Il est donc impératif de prendre préalablement à l'exécution des travaux, toutes les précautions permettant d'éviter une pollution accidentelle de la nappe phréatique.

Le Plan Général de Coordination en Matière de Sé-

curité et de Protection de la Santé (PGCMSPS), en application des nouvelles dispositions de la loi sur l'eau n° 92.3 du 3 janvier 1992 qui soumet toute activité dans ce périmètre à la procédure d'autorisation préalable du préfet de l'Isère, énonce un certain nombre de prescriptions à respecter lors de l'exécution des travaux.

Pour le tunnel du Petit Brion, il convient de maîtriser d'une part les eaux de foration provenant du creusement et d'autre part les eaux produites au niveau des installations de chantier et des pistes de chantier, y compris les eaux pluviales et les eaux d'extinction d'un incendie.

Pour pallier les risques de pollution accidentelle, le principe suivant est imposé aux entreprises :

1. Local ou périmètre susceptible de produire des liquides polluants : le sol doit être étanche, incombustible (MO) et stable au feu 2 heures.
2. Dispositif de traitement des effluents liquides pollués.
 - 2.a. Dispositif de contrôle de la qualité des eaux rejetées vers le bassin de confinement (par un organisme agréé).
3. Bassin de confinement étanche.
 - 3.a. Dispositif de contrôle de la qualité de l'eau avant rejet dans le milieu naturel (par un laboratoire agréé par la société gestionnaire des eaux de Grenoble).
4. Milieu récepteur (drain du Levant pour Petit Brion).

■ UNE PROGRAMMATION DES TRAVAUX CONTRAIGNANTE

La réalisation de la plate-forme autoroutière dans la plaine du Lavanchon au nord d'Uriol et entre les deux tunnels (plaine de Reymure) nécessite en plus du marinage des tunnels, le transport de 1,5 millions de mètres cubes de matériaux prélevés sur le plateau du Crozet (situé au sud du tunnel du Petit Brion et du viaduc de La Rivoire).

La programmation des travaux souterrains a été organisée autour des impératifs des mouvements de terre.

■ LE TUNNEL DU PETIT BRION

A l'issue de la période de préparation de trois mois et après aménagement des installations de chantier, les travaux de creusement du tunnel du Petit Brion sont engagés à partir de la tête nord : en attaque montante, en excavation bi-tube et en pleine section sur environ 90 m². Le marché imposant un jumbo robotisé, c'est un Robofore trois bras qui est retenu par le groupement, pour assurer la foration d'abattage à l'explosif des schistes calcaires. Le soutènement appliqué est à base de béton projeté renforcé de fibres métalliques et d'ancrages scellés. Après une période de rodage d'environ

QUELQUES CHIFFRES

Tunnel d'Uriol

- 490 m
- 2 x 3 voies
- 95 000 m³ excavés

Tunnel du Petit Brion

- 565 m
- 2 x 2 voies
- 100 000 m³ excavés

six semaines, correspondant aussi au franchissement des zones d'entrée comprenant cintres lourds et excavation phasée calotte puis stross sur une dizaine de mètres, la cadence moyenne de 25 m/semaine/tube est le plus souvent observée et a conduit au percement, près de la tête sud, des deux tubes le 7 novembre 1996.

Les travaux d'aménagement des deux tubes en vue du charroi des terrassiers (béton de radier, banquettes, reprofilage, ventilation) sont exécutés en novembre et décembre 1996. Les deux tubes sont alors livrés à la circulation de chantier pour un an, alors que les équipes de terrassement-soutènement sont transférées sur l'attaque sud du tunnel d'Uriol.

■ LE TUNNEL D'URIOL

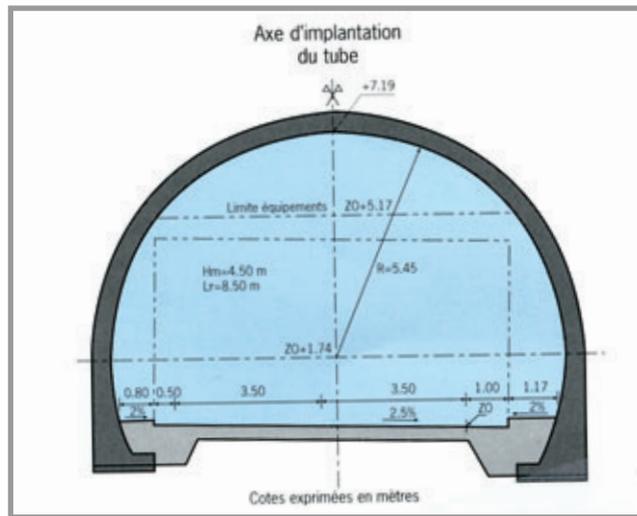
Les zones d'entrée en galerie d'Uriol sud sont également excavées par demi-section, sur une dizaine de mètres dans chaque tube, avec beaucoup de précautions pour préserver un environnement sensible comprenant un ensemble pavillonnaire, la RN 75 et l'ouvrage d'art la franchissant.

Ce sont des tirs limités, avec contrôle des projections, des vibrations et du bruit réalisés de jour et entre les périodes de pointe du trafic sur la RN 75, qui sont exécutés durant l'été 1996, à l'aide d'un jumbo trois bras classique. Les mêmes moyens ont permis d'excaver environ 20 ml dans chaque tube sur la tête nord en septembre 1996 de façon à réaliser pendant le dernier trimestre le renforcement par jet grouting des argiles sur lesquelles sont fondées les têtes contrevoutées du tunnel. Le creusement à cadence industrielle est engagé côté sud en bi-tube et en pleine section soit environ 120 m². Le Robofore ayant été équipé de glissières de 5,50 m, ce sont des volées de 5 m qui ont été excavées en utilisant un plan de tir conique développé à la fin du creusement du Petit Brion.

La cadence d'un tir par jour dans chaque tube a permis de progresser de 25 m par semaine et par tube. Le percement est intervenu le 8 avril 1997 dans le tube est et le 14 avril 1997 dans le tube ouest. En partie courante, le soutènement appliqué comprenait béton projeté fibré et ancrages scellés.

■ L'ÉTANCHÉITÉ ET LE REVÊTEMENT

Le bétonnage des revêtements est précédé par le passage du portique de contrôle du gabarit et la mise en œuvre d'une étanchéité PVC translucide 15/10. Les contraintes liées au charroi des matériaux ont imposé le principe suivant : béton dans un tube et libre passage dans l'autre. Le respect du délai global d'exécution, compte tenu des



Tunnel du Petit Brion : profil en travers type d'un tube

Petit Brion tunnel : typical cross-section of a tube



© S. Chappaz

La fraise rotative en action

The rotary cutter in action

contraintes liées aux mouvements de terre, implique l'utilisation de deux coffrages-outils, intervenant dans un tube, puis dans l'autre. Les bétons de revêtement, y compris collecteurs multialvéolaire et trottoirs, sont réalisés pour Uriol entre juin 1997 et mars 1998. Ces travaux ont démarré à Petit Brion en novembre 1997 pour s'achever au début de l'été 1998.

Les tunnels d'Uriol et du Petit Brion s'inscrivent en limite d'agglomération, dans un environnement humain et naturel particulièrement sensible. La recherche opérationnelle préalable au déroulement des travaux a permis d'intégrer dans les dispositions contractuelles un certain nombre de spécifications nouvelles concernant notamment les installations de chantier et la maîtrise des eaux de foration.

Le respect de ces prescriptions par les entreprises a permis d'exécuter les travaux conformément aux prévisions initiales, en préservant la quiétude des riverains et le milieu naturel.

Le creusement des tunnels d'Uriol et du Petit Brion a également fourni au groupement d'entreprises italiennes l'occasion d'utiliser le Robofore pour réaliser des volées à trous parallèles d'abord, puis à trous convergents (bouchons coniques), mettant à profit l'informatisation des bras de foration.

LE TRAITEMENT DES EAUX DANS LA PLAINE DE REYMURE

Au niveau de la plate-forme du Petit Brion nord, et ce afin de satisfaire aux dispositions contractuelles et au PGCMSPS, un équipement spécifique permettant de traiter les eaux du tunnel, de la plate-forme d'attaque et de la piste d'accès, est mis en place. L'installation est dimensionnée pour traiter 10 l/s soit environ 40 m³/h et comprend une centrale de floculation, un sédimenteur cylindrique à flux vertical, une centrale de mesure et de correction du pH, un séparateur d'hydrocarbures ainsi que trois bassins de stockage des eaux traitées de 400 m³ chacun. Il est nécessaire de disposer de trois bassins : un en cours de vidange, un en cours d'analyse par la société gestionnaire des eaux de Grenoble et un en cours de remplissage. Il a été possible de vérifier l'aptitude du dispositif à traiter les eaux provenant du chantier, et la possibilité de les rejeter après traitement dans le milieu naturel. Toutefois, les débits observés étant bien inférieurs à ceux pris en compte, ces eaux sont recyclées, le rejet dans le milieu naturel ne s'imposant qu'à l'occasion de gros orages et de fortes précipitations.

L'évolution des plans de tir des tunnels d'Uriol

Le creusement de ces deux tunnels a été l'occasion de développer un plan de tir "conique" qui est venu se substituer au plan de tir "canadien" utilisé habituellement en France.

Le tunnel du Petit Brion est creusé dans des formations marno-calcaires du Bajocien-Bathonien. Les essais de laboratoire ont révélé que ces formations présentent une forte proportion de silice (environ 40 %) et une résistance à la compression de 50 MPa. L'excavation orientée sub-parallèlement à la stratification est effectuée en mode traditionnel sur la totalité des deux tubes, soit sur des longueurs de 494 et 513 m pour une section

pecter les délais contractuels très stricts ainsi que les ralentissements du premier mois (rodage du chantier, mise au point des matériels et des équipes) et du dernier mois (tir de contrôle de vibrations à cause du viaduc de La Rivoire en fin de construction et de plusieurs maisons en sortie de tunnel), il est développé un cycle permettant de réaliser trois volées par jour ouvré. Celui-ci peut être réalisé du fait des très bonnes caractéristiques du massif et des conditions de stabilité à court terme qui permettent un soutènement par boulonnage de deux volées successives pendant les postes de nuit.

Une vérification constante des surfaces déroctées après chaque tir est assurée par les géologues du bureau d'études Geodata affectés en permanence sur le chantier et par les responsables techniques de Scetauroute.

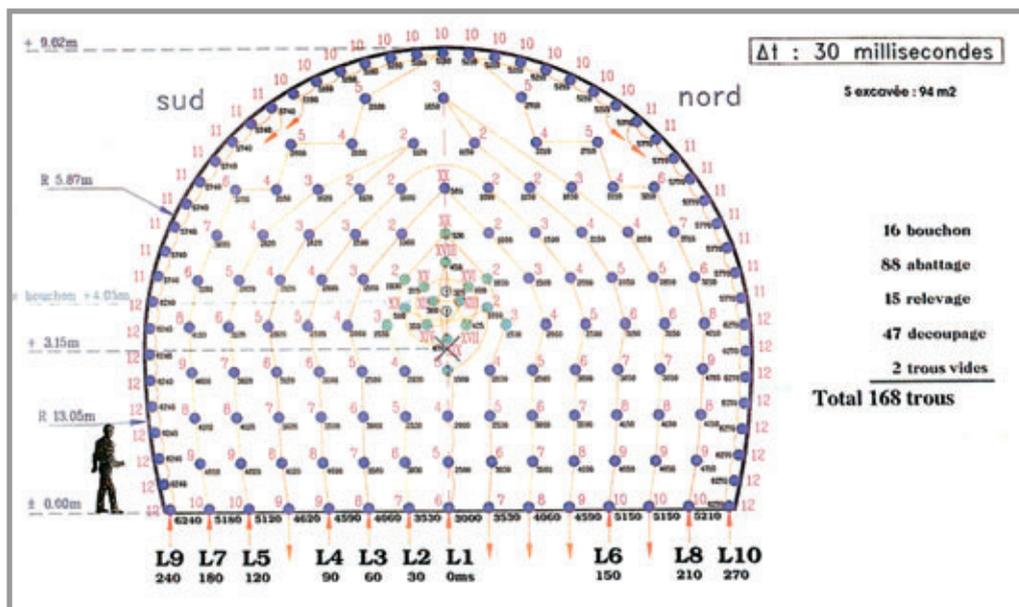
■ LA FORATION DES VOLÉES

La foration est effectuée par un Robofore Montabert à trois bras, entièrement automatisé. L'engin est contrôlé par des calculateurs (un par bras et un central) dialoguant entre eux par un réseau de communication. Ceux-ci traitent les informations provenant des capteurs de position logés dans les articulations des bras, en fonction du mode de fonctionnement retenu (manuel, semi-automatique, automatique).

Le calculateur central coordonne les tâches effectuées par chaque bras, évalue les risques d'interférence et gère un écran graphique fournissant au foreur toutes les informations utiles à la foration (données géométriques de la foration, vitesse de foration, pression hydraulique sur l'outil, etc.). La récupération de ces paramètres de foration permet un suivi du chantier en temps réel. Le calculateur traite les informations provenant des capteurs, pilote les sectionneurs hydrauliques et calcule en temps réel sa position dans l'espace.

La robotisation permet d'exécuter un schéma de foration avec précision et d'obtenir ainsi une découpe régulière correspondant au profil théorique. Les volumes de déroctage et de béton de finition en hors profil sont réduits au minimum. Les trous se terminent tous dans le même plan.

Le Robofore peut exécuter tous les types de plans de tir définis en coordonnées cartésiennes à partir d'un ordinateur PC; il suffit de les charger dans la mémoire du calculateur central qui a la capacité de stocker huit plans de tir différents. Chaque



Plan type de tir séquentiel
Sequential blasting plan

moyenne de 87,5 m². Cette excavation est exécutée dans un délai de 8 mois en tenant compte de diverses contraintes :

- ◆ contrainte d'environnement : traitement des eaux éventuellement polluées par les engins ;
- ◆ contrainte d'horaires de travail : tir de 7 h 00 à 19 h 00 du lundi au vendredi uniquement ;
- ◆ contraintes vibratoires ;
- ◆ contraintes géométriques.

Dans ces conditions, l'utilisation d'une méthode de terrassement à l'explosif réalisée en pleine section est subordonnée à l'emploi d'un jumbo robotisé avec écartement de 50 cm entraxes pour les trous de découpage.

■ L'ORGANISATION DU CHANTIER

La foration est exécutée par l'intermédiaire d'un jumbo robotisé Montabert à trois bras. Le chargement des volées se fait à l'aide de charges préfabriquées à amorçage séquentiel. Le marinage et la purge sont réalisés en mode traditionnel. Pour res-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Groupement Pizzarotti - CMC
(Cooperativa Muratori Cementisti)



et du Petit Brion

trou est défini par des coordonnées cartésiennes X et Y dans un repère correspondant à la galerie. La liste des trous correspondant à un plan de tir est éditée à l'aide d'un logiciel fourni avec la machine. Les caractéristiques d'un trou sont définies par le numéro de bras affecté au trou, la position dans le cheminement, les coordonnées X et Y, la longueur de foration, l'angle horizontal de foration, l'angle vertical et l'identification du type de trou (couronne, pied, bouchon, normal).

Un programme informatique a été développé par le groupement afin d'analyser la foration et l'efficacité de la volée. Cet outil intègre les données obtenues à partir du plan de tir théorique, les coordonnées des trous réalisés (rendues par l'informatique du Robofore) et le résultat du levé au profilomètre après déroctage. La superposition de ces trois informations, rendues aussi en 3D, a permis une amélioration continue de l'efficacité des volées.

■ LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE

Une fois la machine conduite au front, l'opérateur la met en place de manière approximative et sélectionne un des plans de tir en mémoire. Pour le positionnement par rapport à l'axe de la galerie, il est nécessaire d'exécuter une phase nommée "prise laser" qui permet au Robofore de calculer les écarts entre sa position et l'axe de la galerie. La procédure d'alignement consiste à aligner un des bras du Robofore sur le rayon laser et à faire une visée avec le distancemètre (dont est équipé le Robofore) sur une cible située en arrière, près du laser. Cette position est prise en compte par l'ordinateur pour calculer les coordonnées des trous du schéma de tir dans le référentiel lié à la machine. L'opérateur effectue, s'il le juge nécessaire, la procédure de reconnaissance rapide du front, pour recalculer les origines de certains trous qui pourraient ne pas être exécutables dans les conditions réelles du front et des parements. Après la reconnaissance du contour de la galerie et éventuellement des bosses localisées, la foration peut démarrer. Si une reconnaissance de la galerie est effectuée et que certains trous de couronnes se situent à l'extérieur de celle-ci, le Robofore les repositionne sur le profil reconnu et recalcule les angles horizontaux et verticaux pour rejoindre le fond de trou initialement prévu. Les trous se terminent tous dans le même plan, ce qui permet



Tir de mine
Blasting

© S. Chappaz



Pose d'un cintre
*Centring
being positioned*

© S. Chappaz

d'avoir une surface du front de taille verticale et parallèle à la précédente.

Pendant le fonctionnement en automatique il est possible d'intervenir en cas de problème (accrochage avec le parement, ripage d'ancrage, intervention sur le positionnement des trous) sur le mode opératoire de la machine avec un fonctionnement dit de "correction" : le déplacement du bras s'obtient de la même manière qu'en mode "semi-automatique". L'opérateur utilise les mouvements de levée, balayage et de télescopage pour positionner le taillant, le parallélisme étant géré par le Robofore.

■ LE PLAN DE TIR

Le plan de tir initialement adopté est à trous parallèles (schéma dit canadien), traditionnellement utilisé en tunnels de petites dimensions (jusqu'à 20/25 m² de section) pour garantir des volées de longueur importante (3 à 5 m). Ce plan de tir, qui garantit, entre autres, des vitesses de vibrations

Outil coffrant
en tête de tunnel

Shuttering tool
at tunnel head



© S. Chappaz

inférieures par rapport à d'autres plans de tir, est largement appliqué en France grâce à la grande diffusion des jumbos robotisés, qui permettent un contrôle très précis du parallélisme des trous, essentiel pour la grande section.

Le plan de tir choisi, parmi les divers plans, prévoit, dans la version définitive pour le tunnel de Petit Brion, un total de 151 trous de 48 mm de diamètre et un trou central vide de 127 mm de diamètre, amorcés en séquentiel avec dix lignes de tir espacées de 30 ms. La charge totale est de 431,75 kg pour une volée de 4 m, avec une charge spécifique théorique de 1,27 kg/m³.

Le rendement moyen des volées a été sur 18 semaines de travail, de 3,48 m, ce qui porte la consommation réelle d'explosif à 1,45 kg/m³. Ce rendement limité est probablement dû au fait que la stratification était subparallèle aux trous, ce qui a pour effet d'induire des déviations de petites importances en absolu pendant la foration, mais suffisantes pour altérer le parfait parallélisme des trous de bouchon.

Au-delà du PM 350 en raison des travaux à réaliser – creusement de 150 m par tube, réalisation du béton de radier, réseaux d'éclairage, eau et air comprimé – et du faible délai restant (2 mois), il est nécessaire d'augmenter la vitesse moyenne d'avancement afin de conserver une marge de sé-

curité pour l'entreprise. Une période d'essai, afin de déterminer le plan de tir le plus adéquat, est lancée. Le plan de tir avec le bouchon en triple V (dit "conique"), normalement utilisé en Italie sur des sections supérieures à 30 m² et nécessitant une précision de foration moins importante des trous d'abattage pour la bonne réussite des volées est retenu.

Ce schéma prévoit trois rangées horizontales de trous à hauteur des piédroits, convergents au centre (le bouchon proprement dit, avec un angle au centre qui doit être supérieur à 50°) et qui graduellement deviennent parallèles vers les piédroits, tout en diminuant leur inclinaison par rapport à l'axe du tunnel. Les trous de découpage restent identiques à la volée canadienne. Dans l'utilisation traditionnelle, dérivant aussi des caractéristiques sur Pantofore, les trous exécutés sont prévus parallèles entre eux.

Toute modification au parallélisme des bras doit tenir compte des sécurités d'anticollision dont le Robofore est équipé. Pour ce faire, le groupement étudie un synchronisme d'exécution des trous dans un schéma de tir apte à assurer aussi la liberté de mouvement des bras dans un mode de fonctionnement automatique.

Ce plan de tir a un nombre de trous de 10 % inférieur par rapport à la volée canadienne, ce qui entraîne une diminution des temps de foration et chargement. La différence de rendement constatée est assez faible (vitesse d'avancement moyenne de 48,9 à 51,2 m par semaine sur les deux tubes du Petit Brion).

Une amélioration importante est apportée au niveau de la consommation d'explosifs (charge spécifique réelle de 1,10 kg/m³ et consommation en explosifs théorique de 1 kg/m³) et de la durée du cycle due à la réduction des longueurs de foration des trous de chargement.

Lors du démarrage de l'excavation du tunnel d'Uriol, le système de tir à bouchon conique est utilisé systématiquement. Ce plan de tir prévoit un nombre de 168 trous contre les 178 trous prévus pour le plan de tir à bouchon parallèle. La consommation en explosifs est de 1,05 kg/m³ d'excavation et le rendement des volées de 4,95 m pour des forations de 5,50 m.

Afin de diminuer le plus possible les projections pendant les tirs, il est prévu de donner une légère inclinaison au bouchon vers le bas du tunnel ; cette disposition, ainsi que l'effet dû au bouchon conique, comporte une intervention plus accentuée du BRH pour la phase de purge nécessaire afin de garder la verticalité du front de taille.

Quant au contrôle de vibrations à la sortie du tunnel, le fait d'utiliser un amorçage de type séquentiel a permis de maintenir la même charge unitaire que pour un plan de tir canadien, et donc de maintenir le niveau des vibrations au-dessous des limites contractuelles.



© J.-M. Huron

**Vue intérieure
d'un tube achevé**
*Internal view
of a completed tube*

■ LA MODIFICATION DES GLISSIÈRES

Compte tenu de la surface plus importante pour le tunnel d'Uriol (120 m² contre 90 m² pour le tunnel du Petit Brion), la durée des cycles ne permet pas de maintenir les trois volées journalières, comme pour le tunnel du Petit Brion, à l'intérieur de la plage horaire de 7 h 00 à 19 h 00 autorisée pour les activités bruyantes.

Pour respecter les cadences d'avancement prévues il est décidé de remplacer les glissières du Robofores de 4,50 m par des glissières de 5,50 m. Ce changement a permis d'atteindre les cadences prévues de 50 m/semaine pour les deux tubes avec un tir/jour par tube. Avec un seul cycle complet par tube dans une journée il est possible pour le tunnel d'Uriol de pallier aux conséquences des irrégularités du front de taille, l'activité de purge par le BRH n'étant pas critique dans le cycle d'une volée.

Cette expérience a permis de mettre en valeur les caractéristiques du tir dit "conique", celui-ci étant pratiquement le seul utilisé en Italie pour le déroctage des tunnels routiers et ferroviaires. Son application a comporté une série d'avantages par rapport au plan dit "canadien" :

- ◆ nécessité d'une précision et d'une sensibilité inférieure pour la réalisation des trous dans la partie centrale de la volée, et donc en cas d'emploi d'un jumbo conventionnel ou de situations géologiques, lithologiques et stratigraphiques particulières, une garantie supérieure sur les résultats des volées ;
- ◆ incidence inférieure de la foration et de la charge unitaire d'explosif, avec des gains sur la consommation d'explosifs et sur les temps des cycles d'avancement ;
- ◆ en cas de déroctage avec contrôle de vibrations, le plan de tir conique grâce à l'amorçage séquentiel permet d'obtenir les mêmes résultats que le plan de tir à trous parallèles.

ABSTRACT

The Uriol and Petit Brion tunnels. Civil engineering works and blasting phases

P. Hingant, L. Girardi, L. Brino

The digging of the Uriol and Petit Brion tunnels was carried out within particularly sensitive surroundings ruling out any noisy operations at night, and calling for the inspection and treatment of discharged water and the limiting of blasting operations at the tunnel heads. These two tunnels provided the opportunity to develop a "conical" blasting plan, which replaced the "Canadian" blasting plan customarily used in France.

RESUMEN ESPAÑOL

Los túneles de Uriol y del Petit Brion. Las obras de ingeniería civil y la evolución de las voladuras

P. Hingant, L. Girardi y L. Brino

La excavación de estos túneles se ha desarrollado en un entorno particularmente sensible que ha impuesto la prohibición de trabajos ruidosos durante las horas nocturnas, el control y el tratamiento de las aguas de vertido y la limitación de las voladuras en las bocas de los túneles.

La excavación de ambos túneles ha dado lugar al desarrollo de un esquema de voladuras de tipo "cónico", que ha venido a sustituir el esquema de voladura "canadiense", utilizado de costumbre en Francia.

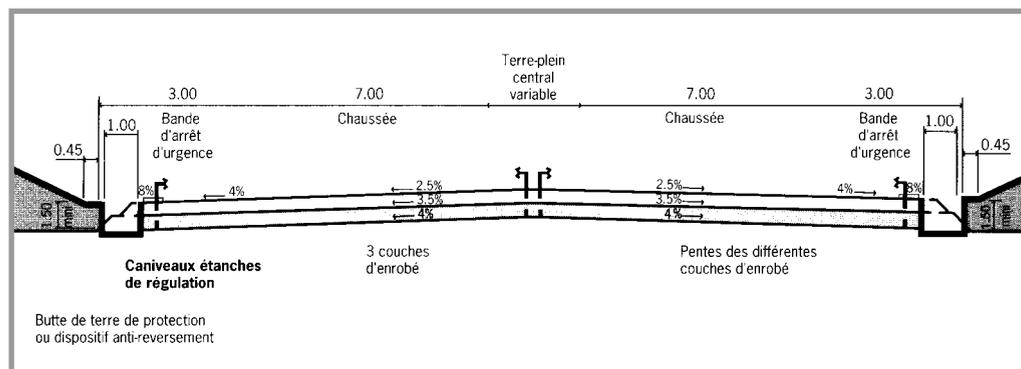
L'eau : un enjeu pour

La section Grenoble-Coynelle de l'autoroute A 51 s'inscrit dans un environnement sensible de par la richesse et la qualité des eaux souterraines d'une part et à la présence de cours d'eau et exutoires hydrologiques de capacité insuffisante d'autre part, avec en particulier : la nappe alluviale de la plaine de Reymure alimentant en eau potable (naturellement pure) les principaux captages de la ville de Grenoble et la plaine du Lavanchon faisant l'objet de crues fréquentes. D'importants dispositifs de protection ont accompagné la construction du ruban autoroutier : une plate-forme entièrement étanche, sans possibilité de rejet sur 8 km, nécessitant des ouvrages de collecte, de stockage (bassins et casiers linéaires régulateurs) de refoulement dans les points bas et de traversée des tunnels et des viaducs.

Au-delà de ces dispositifs parfois novateurs, la protection des eaux a engendré un arsenal de précautions, mises en œuvre dès la phase chantier, visant à réduire les risques d'une éventuelle pollution accidentelle : modélisation de la nappe alluviale du Drac et étude de transfert d'un polluant depuis la Gresse, structure permanente d'alerte et d'intervention, suivi de la qualité aquifère, procédures contraignantes dans les marchés des entreprises, mise en place d'une structure "environnement"...

Profil en travers de l'autoroute A 51 dans la plaine de Reymure

Cross section of A 51 motorway in the Reymure plain



■ PLAINE DU LAVANCHON

Les digues du Lavanchon n'étaient pas d'une hauteur suffisante pour assurer le bon écoulement des eaux lors des crues, le lit étant situé au-dessus du terrain naturel. Cette situation explique les inondations récurrentes dont faisait l'objet la plaine du Lavanchon. Plusieurs projets ont été étudiés pour éviter que l'autoroute ait un effet barrage, lors de crues importantes (centennales). L'aménagement retenu intègre des déversoirs qui permettent de limiter le débit du lit du Lavanchon à sa capacité naturelle, le surplus d'eau étant déversé dans un contre-canal parallèle à l'autoroute. A l'aval, sur la commune de Claix, le lit du Lavanchon est recalibré jusqu'à son débouché dans le Drac. Plusieurs zones d'inondations sur Varcès et Claix ont ainsi été supprimées.

■ PLAINE DE REYMURE : L'AUTOROUTE ÉTANCHE

Dans la plaine de Reymure, la proximité des puits de captage d'eau potable alimentant l'agglomération grenobloise a conduit à développer un dispositif particulier au niveau même de la conception de l'infrastructure. Depuis le choix du tracé par l'Etat, en mars 1991, ce secteur a fait l'objet de nombreuses reconnaissances et études. Des échanges avec les organismes compétents et les communes concernées, ont conduit à adopter des dispositions de protection tout à fait exceptionnelles.

A 51 est étanche sur toute la traversée de la plaine de Reymure. Les eaux pluviales ruisselant sur la plate-forme autoroutière ou les produits pouvant

être répandus sur la chaussée suite à un accident sont recueillis dans des caniveaux en béton sub-horizontaux d'un mètre de largeur et d'une profondeur variant avec la pente de l'autoroute ; ils sont conçus sous forme de casiers en "cascade" afin que, même en cas de pluie exceptionnelle (centennale), les eaux soient régulées puis évacuées en dehors de cette zone vers la plaine du Lavanchon, pour être ensuite traitées avant rejet dans le milieu naturel.

En plus des traditionnels dispositifs de sécurité (glissières métalliques ou béton), des buttes de terre et des barrières anti-déversement de 3,5 m de hauteur au droit des ouvrages empêchent toute sortie accidentelle de véhicule ou de chargements, ceci afin d'éviter que les produits polluants ne soient déversés dans la plaine.

La mise en service d'A 51, grâce à ces dispositifs, assure une protection plus efficace de la plaine de Reymure. Un accident survenant sur la RN 75 et mettant en cause un véhicule transportant des matières polluantes est aujourd'hui susceptible d'entraîner une pollution de cette zone. Le report du trafic, en particulier celui des poids lourds, sur l'autoroute diminue ainsi considérablement les risques de pollutions liés à la RN 75.

■ L'ACCOMPAGNEMENT DE L'EAU

Entre la Chaudume et le demi-échangeur de Saint Paul-de-Varces, soit 8 km de section courante, toutes les eaux pluviales ruisselant sur l'autoroute sont recueillies dans différents bassins de stockage et d'écêtement et rejetées dans leur totalité dans le bassin de traitement du Martinais-d'en-Haut. Afin de franchir les points bas, des systèmes de refoulement par pompe hydraulique sont installés entre le bassin du Crozet et de la Rivoire et entre le bassin de l'échangeur du futur échangeur de Vif nord et les casiers de la section courante.

Plus au sud, dans la montée de Coynelle (5 km) depuis le bassin de la Chaudume jusqu'à la fin provisoire de l'autoroute, la sensibilité du site résulte d'abord des capacités hydrologiques généralement insuffisantes du réseau existant puis de la possible relation entre le cours d'eau La Gresse et la nappe phréatique de Reymure, et de la qualité des cours d'eau environnants. De ce fait, les eaux de la chaussée sont recueillies dans des fossés étanches, régulées et traitées dans des dispositifs appropriés (stockage, régulation, traitement) avant

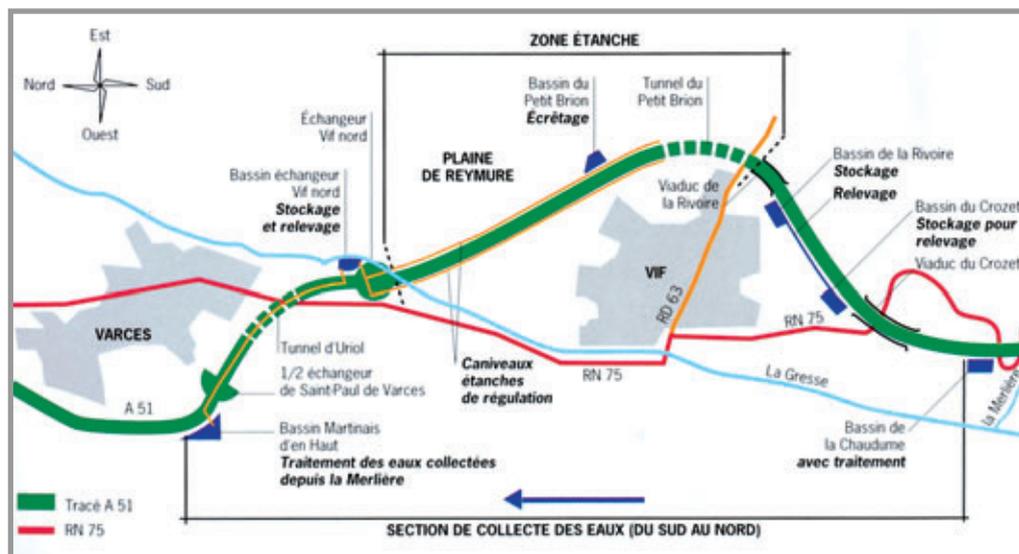


l'autoroute A 51

leur rejet dans le milieu naturel. Les trois points de rejets que sont Chaudume, Merlière et Jails -, font l'objet d'un suivi périodique pour vérifier l'efficacité des traitements. Dans ces dispositifs de traitement, un module de retardement du rejet, composé d'un filtre à sable soit d'un stockage linéaire "en serpentin", permet de piéger une éventuelle pollution accidentelle.

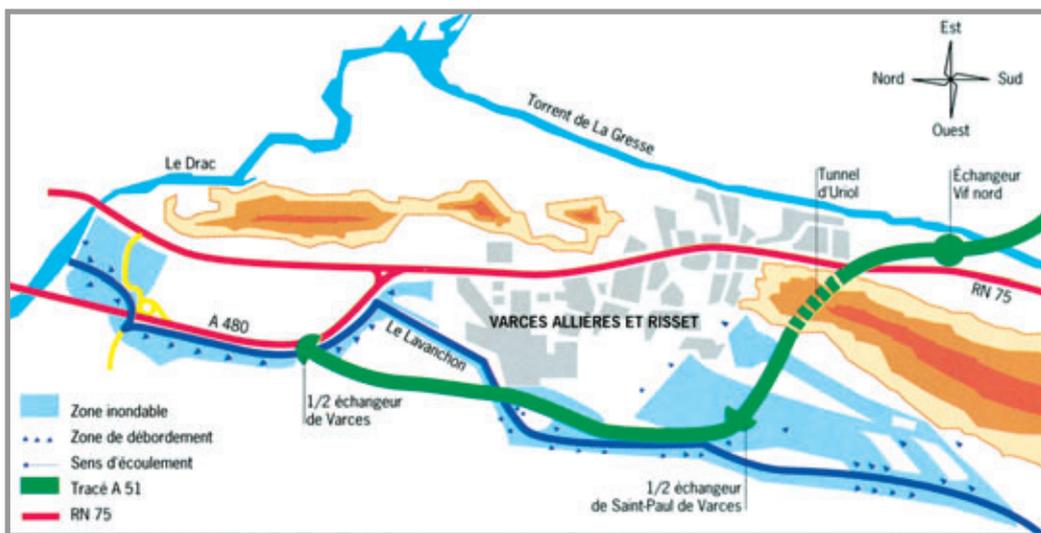
DES TRAVAUX CONCERNÉS PAR LA PROTECTION DES EAUX

En phase travaux, un plan d'alerte et d'intervention est élaboré pour répondre à une pollution accidentelle : l'alerte est donnée aux pompiers qui la répercutent aux services et administrations concer-



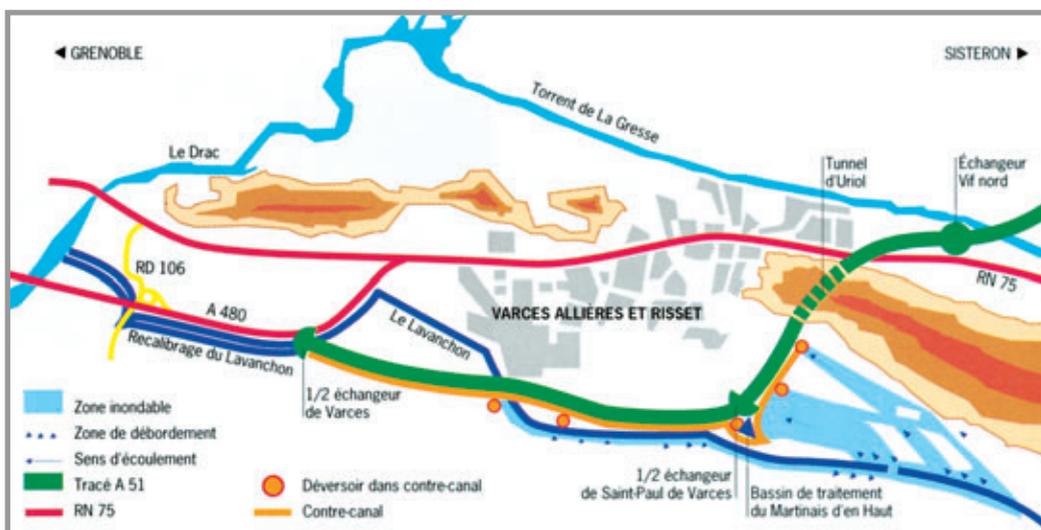
Assainissement de la plate-forme autoroutière sur la section Grenoble – Le Serf

Drainage of motorway bed on the Grenoble – Le Serf section



Zone de débordement du Lavanchon lors des crues centennales (avant A 51)

Lavanchon overflow zone during hundred-year floods (before A 51)



Aménagements du site consécutifs au tracé A 51

The site after routing the A 51



Le contre-canal du Lavanchon
The Lavanchon counter-canal

© S. Chappaz



**Casiers linéaires
régulateurs**
*Linear regulation
racks*

© S. Chappaz

► nés, en fonction de la nature et de l'ampleur de la pollution. La maîtrise d'œuvre de l'intervention est assurée par la Protection Civile. De plus, une équipe de première intervention dotée du matériel nécessaire est disponible dans un délai maximum de 30 minutes, jour et nuit, les week-ends et jours fériés. Ce plan d'intervention fait partie des prescriptions imposées aux entreprises intervenant dans la plaine de Reymure.

Parallèlement à ces actions à caractère d'urgence, des arrêtés préfectoraux au titre de la loi sur l'eau ont prescrit les mesures techniques à prendre pour qu'aucun rejet ne puisse être effectué dans le secteur sensible :

- ◆ le stockage des produits potentiellement polluants ou dangereux est interdit dans la zone de protection ;
- ◆ les eaux usées issues des installations de chantier doivent être évacuées par des raccordements aux réseaux existants ou, lorsque ce n'est pas possible, traitées par des systèmes autonomes ou évacuées vers un centre de traitement ;
- ◆ les installations de chantier sont équipées d'aires étanches pour le stationnement des engins ;
- ◆ les eaux de ruissellement ne peuvent être rejetées qu'après contrôle démontrant que leur qualité correspond aux caractéristiques imposées pour les eaux brutes destinées à la consommation humaine.

En phase d'exploitation de l'autoroute, un plan de secours spécifique a été établi suivant les mêmes critères d'urgence d'intervention. L'ensemble de ce dispositif de prévention bénéfici-

cie d'un suivi régulier confié à la Société des Eaux de Grenoble durant la phase travaux puis la phase d'exploitation, comme le prévoit l'arrêté préfectoral du 26 juillet 1996.

LA RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992

Elle prévoit les procédures et les études à réaliser pour définir les mesures, les ouvrages et les équipements de protection des eaux superficielles et souterraines.

L'ensemble du dispositif de protection a été soumis à enquête publique du 22 janvier au 8 mars 1996 dans les communes concernées.

Les arrêtés préfectoraux du 5 mai 1995 et du 26 juillet 1996

Ils autorisent la réalisation des travaux et fixent les conditions d'exploitation.

Les ouvrages d'art



© S. Chappaz

Vue aérienne du chantier de l'ouvrage voûte

Aerial view of arched structure site

Les ouvrages d'art courants sont nombreux sur cette section d'A51 car celle-ci s'insère dans un cadre urbain et périurbain : des rétablissements de voiries, chemins communaux, routes départementales et nationales, dont la plus importante est la RN75 reliant Grenoble à Sisteron, ou encore des passages pour la faune, des cheminements pour piétons sont nécessaires. Au total, plus de trente rétablissements de voies, passages ou cours d'eau, agrémentent ces seize premiers kilomètres. Les passages inférieurs et les passages supérieurs ont pour la plupart des fondations profondes : des pieux forés bétonnés ou pieux métalliques. Par choix architectural, ils se distinguent par la forme de leurs piles et l'encorbellement des tabliers : les PI sont elliptiques tandis que les PS sont angulaires.

Tour d'horizon des principales spécificités

Dans la plaine du Lavanchon, plusieurs passages inférieurs à cadre fermé servent à la réalisation du contre-canal et au recalibrage hydraulique du Lavanchon.

Dans la plaine de Reymure, les ouvrages d'art courants prennent en compte la spécificité du site en comportant des équipements antibruit, antidéversement et parasismiques.

Un passage inférieur permet à l'autoroute de franchir la RN 75 à Varcès. Il s'agit d'un ouvrage en béton précontraint, long de 90 mètres qui possède deux tabliers espacés de 15 mètres. Sa réalisation s'est révélée délicate en raison d'un biais variant de 60 à 65 grades.

Situé à proximité de la zone d'emprunt de matériaux, le site du Serf comporte deux PS. Ce sont des ouvrages de franchissement de l'autoroute par la RN 75. Le virage caractéristique de cette dernière est élargi offrant ainsi une sécurité accrue.

La tranchée couverte du Serf est un double portique voûté de 120 mètres de long. Un raidissement de la colline est réalisé avec des murs cloués parés d'éléments bétons préfabriqués végétalisés. Au Serf, un PI offre un passage à faune, agricole et hydraulique.

AREA

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Pont sur la Gresse

- Béton pieux et appuis : 2000 m³
- Béton tabliers : 700 m³
- Charpente métallique (Richard Ducros) : 500 t

Ouvrage voûte franchissement SNCF

- 1500 m³ de béton pour la voûte
- 1400 m³ pour les fondations
- 400 t d'acier
- 35 t d'acier pour le coffrage intérieur et 20 t pour l'extérieur

■ DEUX OUVRAGES PEU COURANTS

Le pont sur la Gresse

Situé entre les tunnels d'Uriol et du Petit Brion, dans la plaine de Reymure, le pont sur la Gresse, long de 65 mètres, est constitué de deux tabliers accolés dont le biais avoisine les 60 grades. Sa construction a débuté en juillet 1996 et s'est achevée en avril 1997.

Le pont sur la Gresse se caractérise comme un ouvrage mixte multipoutre. Ses fondations sont constituées de 32 pieux, de 1,2 m de diamètre et d'une longueur variable de 15 à 25 mètres en fonction du terrain. Ces pieux forés à la bentonite supportent les deux semelles de piles et les quatre cu-

lées. Ces dernières se distinguent par leur architecture de forme triangulaire.

Cet ouvrage est constitué de deux travées dont l'appui central possède quatre piles. Des poutres métalliques, quatre à l'est et cinq à l'ouest, supportent un hourdis en béton armé bétonné sur des pré-dalles non collaborantes. Situé en zone sensible en matière de séisme, l'ouvrage comporte également huit vérins parasismiques (deux par culées) capables de reprendre chacun un effort horizontal du tablier de 50 tonnes.

Les équipements particuliers

En raison de sa situation dans la zone de protection des captages d'eau de Grenoble, le pont sur la Gresse est équipé d'un dispositif antidéversement de 3 mètres de hauteur qui vient surélever

courants

François Renaud



**CHEF DE SERVICE
TRAVAUX
GFC**

les barrières de sécurité de type BN 2, et de tuyaux d'acier, suspendus sous les encorbellements derrière les corniches. Invisibles sur cet ouvrage, ces derniers sont reliés à la structure d'assainissement pour reprendre les eaux de la plate-forme autoroutière.

L'ouvrage voûte de franchissement SNCF

A l'extrémité de la section Grenoble-Coynelle, A 51 franchit à nouveau la voie SNCF. Le dispositif constructif retenu est celui d'une voûte coulée en place. Longue de 146 m, cette voûte circulaire possède un rayon intérieur de 6,50 m, une dimension importante justifiée par des contraintes techniques : la construction de l'ouvrage s'effectuant sur une voie ferrée en circulation, elle nécessite de laisser libre un gabarit pour la SNCF et de veiller à ce que les travaux de fondation ne déstabilisent pas la plate-forme de la voie ferrée. Les études préalables et les calculs de modélisation ont été importants pour prendre en compte ces contraintes techniques ainsi que celle du risque sismique.

Après la réalisation des terrassements et des fondations, la construction se déroule en quatre phases :

- ◆ coffrage intérieur ;
- ◆ pose des cages d'armatures ;
- ◆ coffrage extérieur ;
- ◆ bétonnage.

L'ouvrage est fondé directement dans le rocher côté amont et partiellement sur des pieux (6 à 7 m) côté aval. Un outil de coffrage a été conçu spécifiquement afin de dégager le gabarit SNCF ; il est totalement étanche pour permettre le travail pendant la circulation des trains. L'anneau bétonné, d'une épaisseur de 50 cm, est coulé en place par sections de 10 m de longueur. Une fois le coffrage intérieur avancé, les armatures de la voûte – préassemblées au sol en quatre cages –, sont mises en place. Le coffrage extérieur est à son tour avancé et solidarisé au coffrage intérieur avant bétonnage à la pompe. Enfin, avant le remblaiement, une membrane d'étanchéité est posée sur le béton extérieur.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Entreprises

- GFC (génie civil)
- Perrier TP (terrassements)



Construction de la voûte coulée en place

Construction of arch cast in place

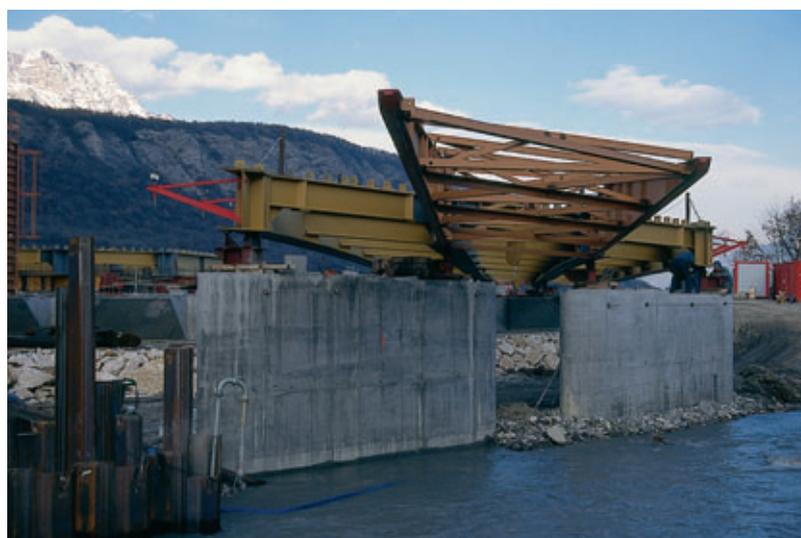
© S. Chappaz



Pont sur la Gresse. Construction en cours

Bridge over the Gresse. Construction in progress

© M. Stahl



Pont sur la Gresse. Construction en cours de l'ouvrage mixte multipoutre

Bridge over the Gresse. Construction in progress on multi-girder composite structure

© M. Stahl

A 51 - Les

Terrassements
sur le plateau du Crozet
*Earthworks
on the Crozet plateau*



© S. Chappaz

Les terrassements de la section Grenoble - Coynelle ont constitué l'essentiel de l'activité du chantier de l'autoroute A 51 en 1997 sur Grenoble - Le Serf et en 1998 sur Le Serf - Coynelle. Sur ces 16 km, les travaux de terrassement ont été exécutés en site propre grâce à la réalisation préalable de pistes de chantier destinées à limiter les perturbations et les nuisances sur les voiries locales.

■ 4,6 MILLIONS DE MATÉRIAUX EXTRAITS

Les matériaux extraits se répartissent de la manière suivante :

- ◆ déblais : 4,560 millions de mètres cubes, dont 3,4 millions de mètres cubes pour le plateau du Crozet;
- ◆ remblais : 3 millions de mètres cubes;
- ◆ couche de forme : 270 000 m³.

La section Grenoble - Coynelle, bien qu'excédentaire en matériaux, bénéficie d'apports spécifiques en quantités réduites. Ils sont de l'ordre de 50 000 m³ pour le démarrage des travaux et de 25 000 m³ d'encrochements dans les aménagements hydrauliques du Lavanchon.

Les dépôts, qui s'élèvent à 930 000 m³, servent à la confection des merlons de protection acoustique (270 000 m³) et au modelage de l'autoroute (660 000 m³) permettant de réaliser le projet d'aménagement paysager. Un stock de 350 000 m³ est constitué au lieu-dit le Pigeonnier pour les besoins en matériaux de qualité du tronçon suivant Coynelle - Col du Fau.

■ LES SOLS

Le cadre topographique, dans lequel le tracé de l'autoroute A 51 s'inscrit se compose d'une zone

de plaines limitées à l'ouest par les contreforts du massif du Vercors et à l'est par les collines de la chaîne de Belledonne. La continuité de ces plaines est interrompue en leur milieu par l'éperon rocheux d'Uriol, orienté nord-sud.

Entre Grenoble et Coynelle, la composition du sol est multiple : des "alluviaux" essentiellement argileux, présentant des caractéristiques géotechniques (terrains compressibles) dans la plaine du Lavanchon, des graves limoneuses dans la plaine de Reymure, des graves sableuses dans le plateau du Crozet et des sables limoneux et graveleux ainsi que des calcaires marneux pour le secteur du Serf et Coynelle.

La réutilisation des matériaux dépend de l'état hydrique du matériau et donc de la période pendant laquelle il est extrait. En période favorable, l'état des matériaux est généralement sec ou moyennement humide tandis qu'en période défavorable il est humide à très humide et peut nécessiter un traitement à la chaux.

Préalablement aux travaux, les études géologiques et géotechniques ont été menées sur plusieurs années, appuyées sur les résultats de nombreuses campagnes de sondages et essais en laboratoires. Elles ont permis de qualifier la nature des terrains en place, de déceler les problèmes de terrassement et de définir les modes d'extraction et les stratégies du mouvement des terres.

Les contraintes, liées principalement à la topographie, à l'occupation des sols ainsi qu'aux options de tracé prises au stade de l'avant-projet sommaire, ont généré un excédent de matériau de près de 1 million de mètres cubes, mis en modelage, merlons et en dépôts définitifs, sur le tronçon Grenoble - Coynelle. Les causes de l'excédent résultent de l'hétérogénéité liée à la géologie du plateau du Crozet.

■ LES DÉBLAIS

Plaine du Lavanchon (PK0 à PK4)

Généralement de faibles profondeurs, les déblais concernent les argiles grises plus ou moins plastiques, généralement peu compactes à l'état très humide. Leurs épaisseurs varient de 20 à 30 m. Une substitution, complétée de purges en fond de forme, est systématiquement prévue sur une épaisseur d'au moins 1,40 m, après mise en œuvre d'un textile anticontaminant.

Ces matériaux sont extraits frontalement à la pel-

terrassements

Jacques Martin



**DIRECTEUR
DE PROJET A 51
Scetauroute**

le et sont mis en dépôt, modelages ou merlons. Les sols à l'état moyennement humide peuvent être réutilisés en corps de remblais.

Déblai du Crozet (PK 8,3 à 9,6)

Ce déblai de 3,4 millions de mètres cubes, d'une profondeur de 20 à 30 m est réalisé sur un plateau constitué d'un ensemble fluvio-glaciaire-sableux et caillouteux. Il constitue la seule source en matériaux noble de la section Grenoble - Col du Fau et a fixé la stratégie globale du projet.

Le déblai du Crozet est relativement hétérogène et peut comporter des horizons de graves agglomérées en poudingue, de limons argileux plus ou moins graveleux (A1 C1), de sols fins peu argileux (A4 B4). Les graves sableuses appartiennent aux catégories D1, D2, D3, C1-B3 et C1-B5. Côté nord, le substratum rocheux de nature quartzo-argileux à mameux émerge faiblement sur le déblai.

Mis à part le rocher sain extrait à l'explosif, tous les sols sont extraits à la pelle avec un tri systématique. L'exploitation est réalisée par terrasses successives.

La réutilisation des limons est la même que dans la plaine du Lavanchon.

Les graves D1 D2 ne posent pas de problèmes de réemploi en remblais, mais peuvent nécessiter un arrosage en période sèche et un mélange des deux fractions.

Les graves D3 entrecoupées de niveaux plus ou moins limoneux (C1-B3 à C1-B5) sont réutilisées en remblais, en couche de forme. Elle sont insensibles à l'eau.

Les sols rocheux (calcaires marneux) sont réutilisés en fondations des remblais de grande hauteur mais n'ont pas été considérés drainants compte tenu de la présence de fines dans les parties altérées. La roche saine a été utilisée en matériaux drainants.

Déblai du Poyet (PK 10,5 à 11)

Ce déblai d'une profondeur maximale de 15 m est composé d'argiles sableuses (A) généralement à l'état très humide et de sable et gravier argileux. Les sables et les graves argileux sont mis en remblais classiquement.

Le fond de forme de ce déblai pouvant présenter des difficultés de traficabilité, une substitution en graves D3 du Crozet a été prévue.



**Les engins
en action**

**Machines
in action**

© S. Chappaz

Déblai du Serf (PK 11,3 à 12,3) et déblai de la Merlière (PK 12,3 à 13,5)

Ce déblai est principalement réalisé dans le substratum marno-calcaire. En couverture de faible épaisseur, on trouve des argiles graveleuses.

Bien que pétrographiquement il s'agisse de calcaire marneux au sens strict du terme (calcaire quartzo-argileux plus précisément), cette roche présente des caractéristiques mécaniques élevées.

Ces calcaires présentent une frange altérée ou fracturée sur 2 à 3 m de profondeur. Ils sont extraits à la pelle avec l'utilisation préalable d'un rippeur. Les calcaires sains sont extraits à l'explosif. Ces matériaux sont réutilisés en corps de remblais en l'absence de fortes précipitations et en fondations du remblai du Poyet (cf. infra).

Dans le déblai de la Merlière, on notera la présence d'une zone de colluvions sur 300 m (gravier et sables avec une matrice plus ou moins argileuse et localement des argiles sableuses) qui impose un système de drainage adapté (épis, drains sub-horizontaux, masques drainants) afin de rechercher un coefficient de stabilité globale de 1,5 demandé par les services SNCF (proximité de la ligne Grenoble - Veynes).

Dispositions constructives des déblais

Les pentes de talus sont fixées à 2H/1V ou 3H/2V avec réalisation de risberme lorsque la profondeur est supérieure à 10-12 m. Des masques drainants sont mis en œuvre devant les niveaux argileux, marnes ou calcaires argileux (déblais du Serf et de la Merlière). Tous les déblais sont drainés latéralement en fond d'extraction, les venues d'eaux étant drainées et rejetées à l'aval. Les talus sont revêtus de terre végétale et enherbée dès que possible au fur et à mesure dans les grands déblais.

► ■ LES REMBLAIS

Plaine du Lavanchon (PK 0 à PK 4)

Les remblais dans cette zone sont constitués à partir des graves du déblai du Crozet et transportés par semis. Il sont réalisés à l'avancement pour des problèmes de traficabilité sur le terrain naturel décapé.

Les argiles de la plaine présentant des caractéristiques médiocres, une faible surcharge génère des tassements importants, de l'ordre du mètre, notamment sous les rampes des PS et des merlons (lorsque la hauteur de remblai dépasse 2 m). Afin

de limiter les temps de consolidation (plusieurs années), un réseau de drains verticaux a été réalisé (mailles de 1,5 par 1,5 à 4 par 4 sur 10 à 12 m de profondeur).

Une base drainante a été préalablement mise en œuvre avec les matériaux de marinage du tunnel d'Uriol. Les tassements effectifs sont conformes au calcul et leurs délais d'obtention s'établissent entre quatre et huit mois.

La tête nord du tunnel d'Uriol a nécessité un confortement par jet grouting.

Plaine de Reymure (PK 4,5 à 7,5)

Les remblais atteignent entre 2 et 18 m de hauteur. Ils sont montés avec les graves du Crozet transportées par des tombereaux. Ils n'ont pas imposé de dispositions constructives particulières sauf à l'approche de la tête nord du tunnel du Petit Brion où une montée du remblai en deux phases est prévue.

Une structure "noyau" est retenue par une utilisation maximale des matériaux du Crozet (sable au centre et matériaux rocheux latéralement).

Dans le remblai de la Chaudume

Ce remblai de grande hauteur (35 m) pose des problèmes d'exécution en fond d'un thalweg très encaissé avec présence d'un écoulement permanent. D'un point de vue géologique, le substratum calcaire, dont la frange supérieure est altérée, est recouvert par une argile sableuse légèrement marron gris de quelques mètres d'épaisseur. Des argiles grises ont aussi été repérées.

Les problèmes recensés sont : l'ancrage du remblai, les risques de tassement (60 cm), le rétablissement de l'écoulement naturel. Il est donc réalisé : une mise à nu du rocher en fond de thalweg, l'évacuation des argiles, une "chaussette drainante" (en matériaux 100/500) en fond de lit, des redans dans les versants du thalweg jusqu'au argiles compactes, un chenal enroché et bétonné. Le remblai est réalisé avec le rocher sain du Serf lorsque la hauteur dépasse 10 m et le rocher altéré pour les hauteurs inférieures à 10 m.

Dans le remblai de Saint-Martin-de-la-Cluze

Ce remblai est réalisé avec une structure "sandwich" : une dalle en matériaux calcaires explosés, un noyau avec les calcaires altérés et les sables du Crozet limités latéralement avec des matériaux D3 du Crozet, une partie supérieure du terrassement en grave D3. A l'approche du franchissement de la voie ferrée à Coynelle où la hauteur atteint 17 m, les terrassements sont réalisés exclusivement en graves D3 avec des pentes à 2H/1V.

Terrassements
dans un environnement
exceptionnel

Earthworks
in exceptional
surroundings



© S. Chappaz

Extraction des déblais
à la pelle
Extraction of cuttings
by shovel



© S. Chappaz

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Grenoble - Le Serf (13 km)

- 4 000 000 m³ dont :
- 350 000 m³ de matériaux rocheux
- 160 000 m³ de couche de forme

Le Serf - Coynelle (3 km)

- 600 000 m³ dont :
- 50 000 m³ traitement à la chaux
- 100 000 m³ de matériaux rocheux
- 30 000 m³ criblage
- 60 000 m³ de couche de forme

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Entreprises

- Bec/DTP (Grenoble - Crozet - Le Serf)
- Perrier TP (Crozet - Le Serf - Coynelle)

REMBLAI ALLÉGÉ

Le raccordement d'A 51 à l'autoroute A 480 se situe dans la plaine du Lavanchon, zone de terrain humide et compressible. Avant de construire les ouvrages de rétablissement des voiries,

il est nécessaire de réaliser des travaux de drainage et de pré-chargement des sols. La bretelle du demi-échangeur de Varcès, permettant de rejoindre la RN75, devant être implantée à proximité immédiate d'un ouvrage existant, différentes solutions techniques sont étudiées afin de limiter les tassements du sol sup-

portant les remblais en place et notamment les poussées sur les fondations de l'ouvrage en service.

Le choix technique se porte sur la réalisation d'un remblai léger en polystyrène expansé (PSE). Cent fois moins lourd qu'un matériau traditionnel, il offre une diffusion des contraintes et une limite des charges et poussées permettant de ne pas déstabiliser les ouvrages en place. La taille et l'emplacement exact des blocs parallélépipédiques composant ce remblai ultra léger ont été déterminés par informatique.

La partie supérieure du remblai en polystyrène, environ 7 200 m², est recouverte d'une dalle béton qui assure la diffusion et la répartition des efforts provenant de la chaussée.

Eric Doyen
CHEF DE CENTRE
SCREG

Remblai allégé
Light fill



© S. Chappaz

DES MOYENS ADAPTÉS, UN MOUVEMENT DE TERRE PARTICULIER

La présence de matériaux hétérogènes comportant successivement des couches de limons, argiles, graves, rocher, a nécessité l'exploitation des différentes zones à l'aide de matériel tout aussi varié.

L'extraction et transport sont pour le déblai du Crozet (graves et limons) essentiellement assurés par des pelles de grosse production (Hitachi EX 700, Liebherr 954), chargeurs Cat 988, Cat 980 et une flotte de 12 tombereaux 769 D, 10 volumes A25 - A35 et 15 semi-remorques.

Le déblai rocheux a nécessité l'emploi de moyens spécifiques. Les matériaux ont été ripés à l'aide d'un bouteur D9R avant minage du cœur du massif rocheux.

On peut citer comme autre conséquence de l'hétérogénéité des matériaux les opérations de traitement à la chaux, qui ont dû être réalisées sur les limons argileux afin de permettre leur mise en remblais.

Par ailleurs, ces hétérogénéités nous ont amenés à gérer les flux de matériaux de

manière particulièrement précise en tenant compte d'une part des différentes caractéristiques qui se précisent à chaque découverte, et d'autre part des affectations possibles en fonction des besoins (remblais, couche de forme, modelages...) et contraintes techniques et qualitatives de réutilisation des matériaux. On citera à titre d'exemple la variante élaborée sur la constitution de la partie supérieure des terrassements, qui sera constituée d'une couche inférieure en sable permettant ainsi de mieux utiliser les graves de bonne qualité. Les réseaux d'assainissement ont également dû être fortement adaptés dans ces terrains singuliers (venues d'eaux erratiques, présence de nombreuses sources...).



Gérard Perrier
DIRECTEUR DES GRANDS TRAVAUX
Perrier TP



Jean-Marc Verne
DIRECTEUR CHANTIER
Perrier TP

La tranchée couverte

Une double voûte de 120 m l'unité du hameau

Plan de situation
Location



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Groupement d'entreprises cotraitantes : BEC/EI/GCC

Lorsqu'elle arrive au niveau du Serf, au sud de la commune de Vif, l'autoroute A 51 doit franchir ce hameau, séparé en deux parties par la RN75. La solution initialement prévue consistait en la réalisation d'un déblai profond, avec un simple passage supérieur pour le franchissement de la nationale.

Après concertation avec la commune et les riverains, c'est un réaménagement général du hameau et de sa desserte qui est réalisé avec la construction de la tranchée couverte.

La couverture de l'autoroute A 51 s'effectue par une double voûte de 120 m de longueur.

Le gabarit intérieur permet le passage de 2 x 3 voies de circulation, dont une voie pour les poids lourds, à la montée comme à la descente. La largeur d'une voûte est de 16 m, sa hauteur maximale de 7,5 m.

Au sud de cet ouvrage, côté amont, des murs de soutènement végétalisables sont construits pour assurer le raidissement des talus. L'emprise de l'autoroute est ainsi bien réduite.

LE NOUVEL AMÉNAGEMENT DU HAMEAU

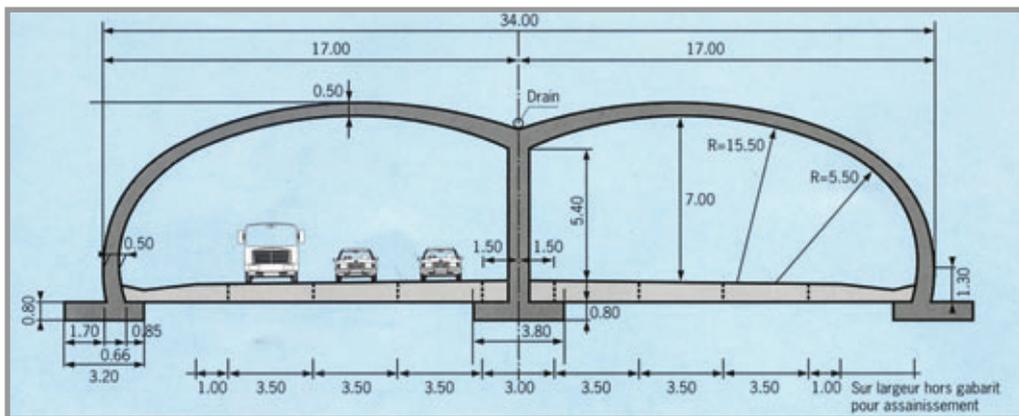
Une double exigence a motivé la décision de procéder au réaménagement global du hameau du Serf : améliorer et sécuriser les échanges.

Echanges entre les deux zones d'habitation, mais aussi avec la RN75 qui est le principal axe de communication.

Avec la construction de la tranchée couverte, les deux parties du hameau demeurent délimitées par la route nationale, rétablie au-dessus de l'ouvrage. Leur desserte s'effectue grâce à un nouveau carrefour, éclairé et aménagé dans chaque sens avec une voie centrale de tourne-à-gauche.

Un passage piétons est réalisé sous la nationale afin de permettre aux écoliers, comme à tous, de rejoindre leurs habitations ou de prendre le bus en toute sécurité. Des buttes de terre et des écrans antibruit sont implantés de part et d'autre de la tranchée couverte afin de protéger les habitants des nuisances sonores de l'autoroute comme de la RN75.

Un réaménagement paysager du secteur est également réalisé, avec la confection de modèles, de plantations et de cheminements piétonniers. L'ensemble de ces mesures privilégie la sécurité et la fiabilité des échanges pour les habitants du hameau du Serf.



Coupe de l'ouvrage

Cross section
of structure



L'outil coffrant
The
shuttering tool

© S. Chappaz



du Serf de longueur pour préserver

■ MÉTHODE DE CONSTRUCTION

La tranchée couverte comporte deux voûtes surbaissées, de 16 m de largeur entre les piédroits. La forme intérieure de chacune d'elles est une succession de deux rayons.

Le piédroit central commun aux deux voûtes est vertical. L'épaisseur de la voûte est de 50 cm ; elle est ferrillée à raison de 90 kg par mètre cube en moyenne. Les voûtes sont fondées sur des semelles superficielles reposant sur le substratum rocheux.

Afin de diminuer la poussée des terres sur les piédroits, les remblais sont traités au ciment. Côté amont de la tranchée, il a été nécessaire de construire une paroi clouée provisoire de 12 m de hauteur, avec la mise en place de tirants passifs et de béton projeté.

L'ouvrage est coulé en place à partir d'un outil cofrant de 12,5 m de longueur, qui intervient sur un tube après l'autre afin de maintenir la circulation de chantier sur l'autre plate-forme. La réalisation de la tranchée couverte s'est effectuée au rythme de un cycle par semaine, soit 12,5 ml par tube. Les entrées ou têtes de la tranchée couverte sont constituées d'une casquette en encorbellement sur le piédroit du terre-plein central.

Leur architecture est en cohérence avec le concept adopté pour l'ensemble de la section où l'autoroute correspond à un tube virtuel ; jouant avec les formes



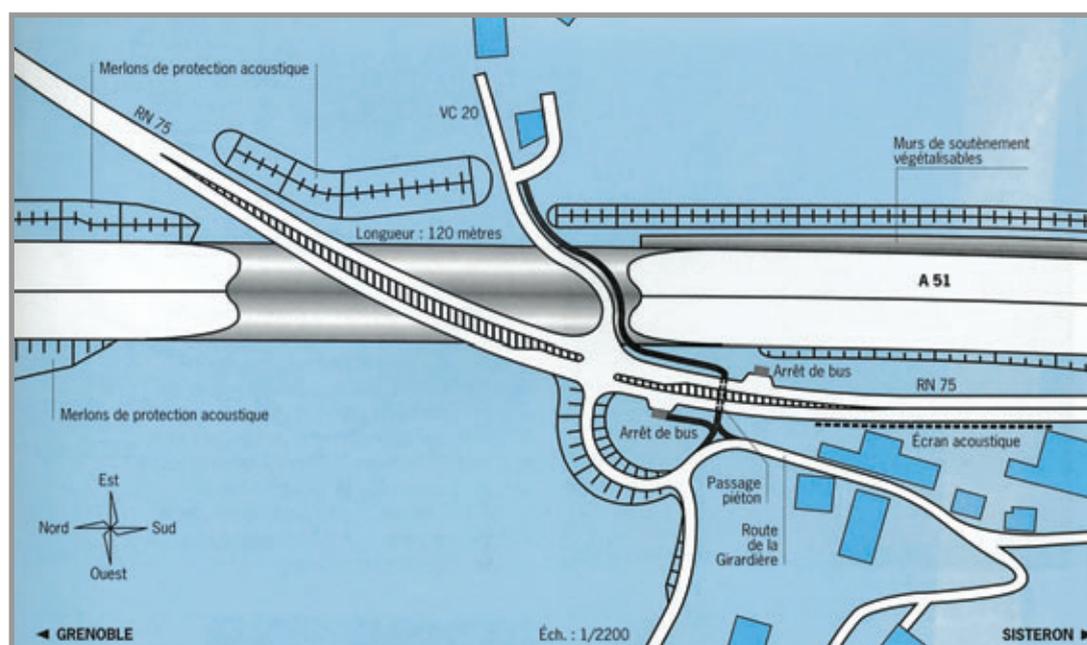
Vue générale
du chantier
General view
of site

© S. Chappaz

du relief, elle respecte sa logique technique et fonctionnelle. Les voûtes se prolongent pour se raccorder à l'est sur les murs de soutènement et à l'ouest sur les dispositifs de retenue.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Béton : 6 000 m³
- Acier : 500 t



Plan
de l'aménagement global
du hameau du Serf

Overall development plan
for the town of Serf



Les murs de soutènement

Le choix d'AREA

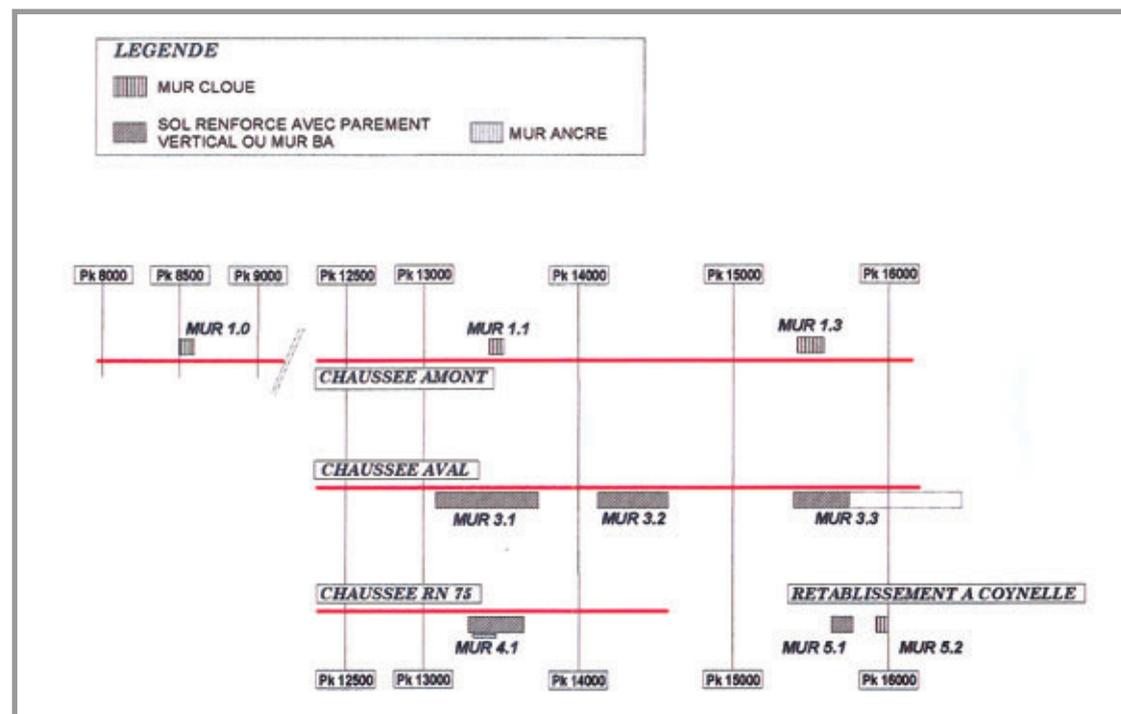
A 51 s'inscrit dans un relief difficile de montagnes. Dans sa première section, sur les neuf derniers kilomètres entre Vif et Coynelle, la dénivellée du projet s'élève à 350 mètres.

A terme, lorsque l'autoroute atteindra le col du Fau, cette dénivellée dépassera les 600 mètres classant cette section parmi les plus grandes dénivellées autoroutières de France. La majeure partie de la montée se développe sur le flanc occidental de la montagne du Grand Brion dont les pentes transversales atteignent 30 % et sont déjà marquées par la présence de la voie SNCF Grenoble-Veyne et de la RN 75. L'atténuation des impacts de terrassement pour insérer l'autoroute entre ces deux infrastructures existantes, a nécessité le recours à différentes solutions techniques : profil mixte, chaussées décalées, murs ancrés à l'amont, murs terre armée en TPC et à l'aval. Dans certains secteurs, le déplacement de la route nationale à l'aval de l'autoroute, au prix d'importants murs en terre armée, a permis de diminuer la surface de murs ancrés à l'amont, plus coûteux mais nécessaires au soutènement de la voie SNCF. Au total, entre le Serf et le plateau des Marceaux, le soutènement des infrastructures représente une surface d'environ 75 000 m² de murs qui se développent sur quatre niveaux.

Le dossier des engagements de l'Etat attire l'attention du maître d'ouvrage sur l'impact paysager de l'inscription de l'autoroute sur le flanc de cette montagne et recommande une étude paysagère spécifique.

Celle-ci a conclu sur la nécessité de végétaliser principalement les murs amonts, dont l'impact, contrairement aux murs avals, ne peut être atténué par une plantation de hautes tiges.

Pour affiner cette étude, il est décidé de réaliser une maquette virtuelle simulant l'impact de l'autoroute dans le site. Elaborée à partir d'images de synthèse pour le projet autoroutier, de relevés numériques et de photographies pour la saisie de l'ensemble du site de la vallée de la Gresse, cette maquette interactive est réalisée par Oktal.



Murs (soutènement) Le Serf - Plateau des Marceaux. Synoptique de repérage

Le Serf walls - Plateau des Marceaux. Reference diagram

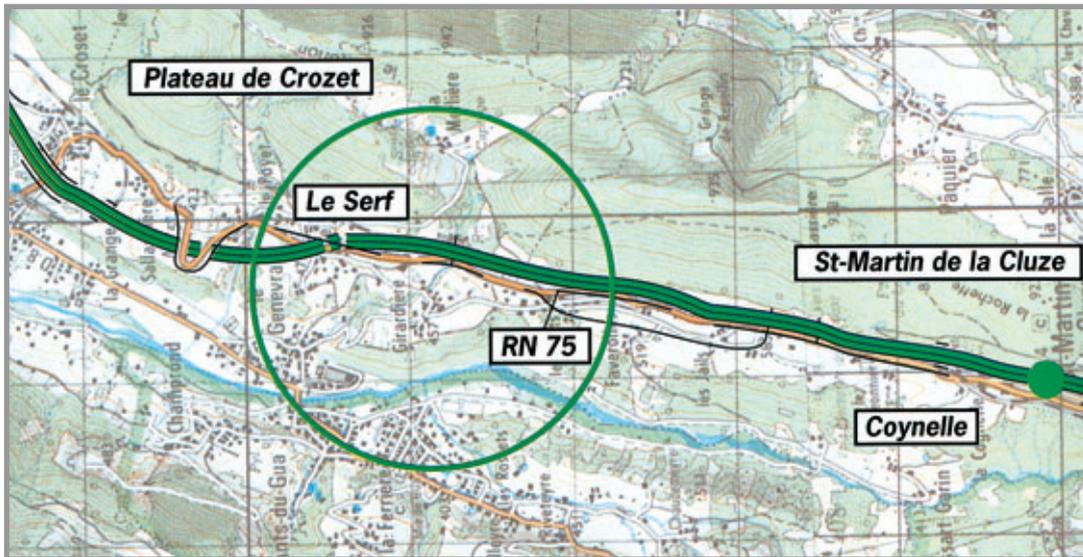
Cette simulation a permis :

- ◆ de vérifier le choix paysager notamment au niveau de l'impact ressenti par les habitants de Gresse-en-Vercors situé sur l'autre versant de la vallée ;
- ◆ de cibler les murs à traiter en priorité ;
- ◆ de choisir le type de mur végétalisable.

En effet, dans le cadre de la consultation (TOARC), une variante large est proposée aux entreprises candidates sur le type de mur végétalisable. A l'issue du dépouillement des offres, les trois meilleures propositions sont retenues et rentrées dans la base de données, élément par élément.

Les images de synthèse facilitent le choix d'AREA, par des visualisations interactives, permettant d'évaluer en temps réel sur tout le territoire de la vallée de la Gresse et d'apprécier les qualités paysagères de chacune des propositions des entreprises. In fine, AREA a choisi le mur Evergreen pour le parement des murs ancrés amonts, et du mur vert de Terre Armée, pour compléter la végétalisation de pied des hauts remblais terre armée, à l'aval de l'autoroute.

Le parement Evergreen



Plan de situation

Location

C'est dans le secteur du Serf, dans le prolongement de la tranchée couverte, que le procédé Evergreen est mis en œuvre, celui-ci répondant aux contraintes fixées :

- ◆ une similitude de parement pour l'habillage en murs cloués ou en murs poids ;
- ◆ le respect des règles parasismiques en vigueur ;
- ◆ un concept à base d'éléments béton aux lignes architecturales sobres permettant de souligner l'horizontale, dans ce secteur où l'autoroute accuse une forte déclivité ;
- ◆ le respect d'une bonne végétalisation rendant l'intégration dans le site plus aisée.

Les dessous d'Evergreen

Les éléments Evergreen viennent parer des murs de soutènement de type cloué ou poids. Pour les murs cloués, une fouille est réalisée sur 2,5 m de hauteur afin de permettre l'élévation. Des forages subhorizontaux aux diamètres variant de 76 mm en rocher à 110 mm en terrain meuble sont ensuite effectués sur une longueur variant de 3 m dans le rocher à 8 m sur un terrain meuble. En général, un forage est fait pour 2 m². Il permet de sceller une barre d'acier au terrain avec le remplissage du trou foré par un coulis de ciment. L'extrémité extérieure de ces clous est solidaire d'une paroi en béton projeté armé d'un treillis métallique, dont l'épaisseur est généralement de 16 cm sauf sur les terrains rocheux de surface où l'épaisseur est limitée à 8 cm. Dans le prolongement de la première, une secon-

de levée de 2,5 m de hauteur est alors réalisée suivant les mêmes dispositions. Cette technique de construction permet d'assurer le soutènement d'un talus de 5 m de hauteur, devant lequel la pose d'éléments Evergreen sert de base aux plantations. Le système de drainage est constitué d'une nappe drainante posée sur le talus avant la projection du béton et de drains subhorizontaux de 7,5 m de longueur.

Quant aux murs poids, ils sont construits à partir d'une fouille précédemment réalisée sur toute la hauteur de la levée. Les éléments Evergreen sont montés depuis un béton de propreté. Un drain à l'arrière du mur permet de récupérer les eaux d'infiltration arrivant par le matériau drainant de remplissage de la fouille, entre les talus provisoires et le mur.

Le concept du mur Evergreen a été développé dans les années soixante-dix par un géotechnicien suisse, M. Jaecklin.

L'idée était de concevoir un mur qui réponde aux exigences techniques d'un ouvrage d'art tel un mur de soutènement, mais également de permettre une bonne insertion paysagère par l'installation durable de plantations.

Le parement est composé de cellules en béton, ouvertes et de grandes tailles. Ces éléments supportent une végétalisation importante (0,75 m³ de terre par mètre carré), et leur poids une fois remplis, stabilise l'ensemble.

La mise en œuvre

Les dimensions de l'ouvrage sur A 51 sont imposantes, les 6 600 m² s'étalant sur une hauteur de près de 21 m et une longueur de 600 m.

Les opérations de pose démarrent en octobre 1997 par l'implantation des pieds des éléments sur les semelles, les fondations préfabriquées ayant été préalablement posées.

Un soin particulier est apporté lors de l'implantation du fait de la géométrie particulière du mur, liée aux contraintes suivantes :

- ◆ le mur suit une rampe d'environ 4 % sur le profil en long ;
- ◆ l'axe de l'autoroute réalise une courbe et une contre-courbe à cet endroit précis ;
- ◆ le profil en travers à un fruit de 1/5.

La mise en place des éléments est effectuée par rangées successives. Une chaussette drainante entre la face arrière du mur Evergreen et l'avant de la paroi clouée permet la récupération des eaux de ruissellement issues des barbacanes. Un drain au

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Dimensions

Zone des murs du Serf

- Murs poids avec parement Evergreen : 1 400 m²
- Murs cloués avec parement Evergreen : 5 200 m²
- Murs cloués avec parement béton : 1 000 m²

Zone des murs Le Serf-Coynelle

- Murs terre armée avec parement vert : 4 450 m²
- Murs terre armée avec parement lisse : 5 800 m²

Jean-Marc Vivier



RESPONSABLE
COMMERCIAL
EVERGREEN
Comptoir du Bâtiment

Jean-Pierre Berlioz



P.- D.G.
Berlioz SA

pied du mur et devant la paroi complète le système de drainage.

Les éléments Evergreen sont remblayés en terre végétale amendée de compost de déchets verts. L'amendement a été programmé à l'issue de l'analyse physico-chimique de la terre végétale provenant du chantier. Cette opération est nécessaire afin de constituer une réserve nutritionnelle dans l'âme du mur. Le plombage s'effectue en couches successives d'environ 40 cm, évitant un "matraquage" préjudiciable à un bon développement de la végétation.

La végétation

Les plantations ont été réalisées en mars 1998. La mise en place de l'écorce de pin (8 cm d'épaisseur environ) sur les parties visibles de la terre parachève le mur. L'intérêt du *mulch* est de limiter l'apparition des mauvaises herbes et l'évaporation lors de fortes chaleurs.



© D. Halluin

Au cours de l'été 1998, un arrosage permit un apport en eau complémentaire évitant aux plantes de puiser dans leur réserve et favorisant ainsi un taux de reprise des plantations de plus de 98 %. Après deux cycles de végétations, ce mur Evergreen peut s'enorgueillir d'une couverture végétale proche de 100 %.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Zone des murs du Serf

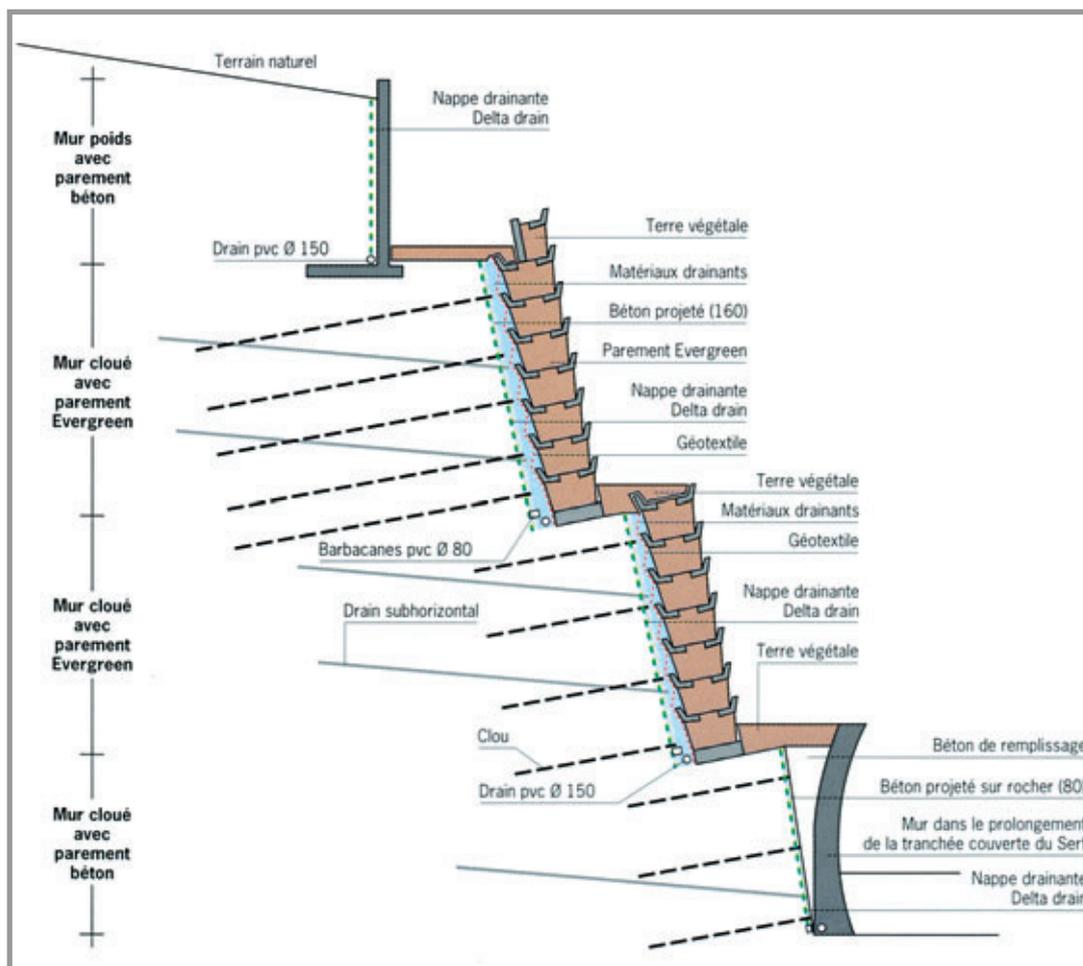
Groupement BEC-EI

Sous-traitants pour les murs Evergreen

- Comptoir du Bâtiment (fourniture)
- Berlioz (pose)

Zone des murs Le Serf-Coyenelle

Groupement Perrier-GFC

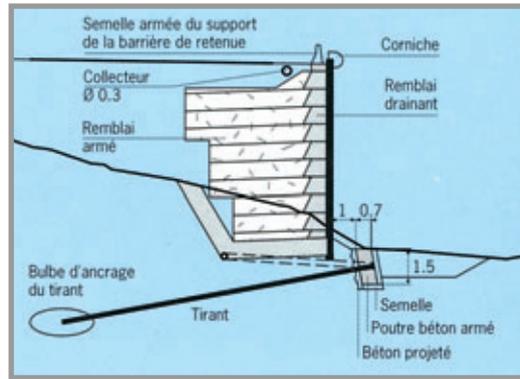


Coupe d'un mur de soutènement du secteur du Serf, cotes exprimées en millimètres

Section of a retaining wall in the Serf sector, values given in millimetres

Les murs Terre Armée

Coupe d'un mur en terre armée, cotes exprimées en mètres
Section of a wall in reinforced earth, values given in metres



© D. Halluin



© S. Chappaz

La technique de la Terre Armée est mise en œuvre sur la section Le Serf - Coynelle d'A 51 pour réaliser des murs de 14 mètres de hauteur maximale en soutien aval de chaussées.

Le fonctionnement et la méthodologie de réalisation des massifs en Terre Armée sont bien connus et ils offrent, pour ce projet, de nombreux avantages en particulier :

- ◆ la souplesse, qui permet de réaliser des ouvrages bien adaptés à des terrains compressibles ou à des pentes plus ou moins stables ;
- ◆ la grande résistance vis-à-vis des efforts statiques et sismiques importants dans cette région ;
- ◆ l'esthétique des ouvrages.

Le parement est traité soit en écailles lisses appelées :

- ◆ TerraClass : le parement est constitué d'écailles cruciformes de 14 centimètres d'épaisseur. 7 000 m² de ce type de parement sont mis en œuvre essentiellement entre la plate-forme autoroutière et la RN 75 ;
- ◆ TerraSet : le parement se présente sous forme de panneaux rectangulaires de 1,70 mètre de large et 2,10 mètres de haut. Ils sont utilisés pour former les murs tympans (hauteur maximale 10 mètres) de la voûte coulée en place qui permet le passage d'A 51 sur la voie SNCF soit une surface de 916 m²,

soit en éléments végétalisables appelés murs verts. Le parement dont la surface totale représente 4 000 m², est constitué de plaques de béton inclinées et rendues autostables par deux piédroits en béton constituant ainsi des alvéoles remplies de terre végétale et qui, à terme, permettent la végétalisation totale de l'ensemble. L'aspect général du parement aux lignes dépouillées fait ressortir des lignes horizontales. L'un des ces massifs a été mis en place au-dessus d'une poutre ancrée pour assurer la stabilité générale du terrain surchargé par le remblai et le massif de Terre Armée.

La qualité des bétons, devant résister au gel et aux sels de déverglaçage, est garantie par la préfabrication des écailles dans une usine intégrée à la société Terre Armée.

■ MISE EN ŒUVRE

Les opérations de montage nécessitent la réalisation préalable d'une semelle de réglage en gros béton. L'implantation de cette semelle doit être précise notamment pour le mur vert dont la crête suit le profil en long de la RN 75. Sur cette semelle les écailles formant le parement s'imbriquent dans les écailles déjà en place, si bien que leur positionnement ne nécessite ni échafaudage, ni étalement. La mise en œuvre des armatures et du remblai ainsi que le compactage sont réalisés par couches successives comme pour un remblai classique en utilisant les engins de terrassement habituels. Une grue légère sert à la manutention des écailles.

Le remblaiement de tous les massifs en Terre Armée a nécessité le criblage de 30 000 m³ de déblai réalisé par le département concassage de Perrier TP.

Une couche de matériaux drainants mise en place à l'interface déblai-remblai et sous l'assise des massifs, permet de drainer les eaux d'infiltration qui sont collectées dans un drain Otodrain Ø 150 longitudinal situé à l'arrière du massif en pied de fouille. Des exutoires sont prévus tous les 100 ml. Une nappe de matériaux drainants de 50 cm d'épaisseur est également mise en œuvre derrière le parement du massif pour éviter toute dégradation par le gel.

Pierre Sery



GROUPE TAI
Terre Armée

Gérard Perrier



DIRECTEUR
DES GRANDS TRAVAUX
Perrier TP

Jean-Marc Verne



DIRECTEUR CHANTIER
Perrier TP

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Zones des murs Le Serf - Coynelle

Groupement Perrier/GFC

Sous-traitants pour les murs Terre Armée

Terre Armée SA

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Zone des murs Le Serf - Coynelle

Murs Terre Armée à parement lisse

- TerraClass : 7 000 m²
- TerraSet : 916 m²

Murs Terre Armée à parement végétalisable

Murs verts : 4 000 m²

Atténuer le bruit

AREA s'est fixé pour objectif qu'aucune habitation ne soit exposée en moyenne à plus de 60 décibels durant la journée et à plus de 55 décibels la nuit, pour le trafic le plus important. Pour y parvenir, et après de nombreuses études acoustiques conduites pour l'élaboration du projet, AREA a privilégié la protection à la source même du bruit ; les mesures mises en œuvre portent ainsi essentiellement sur la réalisation de dispositifs constructifs : murs, merlons, écrans antibruit... qui font pour la plupart l'objet d'un aménagement paysager. De même, les parois à la sortie des tunnels sont revêtues de panneaux absorbant les ondes sonores. Sur chaque site, le choix des protections acoustiques est fait en fonction de sa configuration, de ses caractéristiques et de la nature des équipements ou des constructions. L'étude acoustique de la section a été menée pour une autoroute de liaison à 2 x 2 voies élargissable à 2 x 3 voies dans la partie suburbaine et ayant un trafic de pointe, en été, important. A partir de l'analyse de l'état initial, les résultats de la première phase d'études ont été reportés afin de visualiser les isophones qui permettent d'identifier les secteurs sensibles. Il a été alors possible d'adapter la géométrie du projet et de prévoir les emprises nécessaires à la mise en place des protections acoustiques.

AREA

PROTECTION D'UNE ZONE PÉRIURBAINE

La traversée de la zone périurbaine de Varcès impose d'importantes contraintes acoustiques. Ainsi, les écrans antibruit sont constitués de panneaux préfabriqués en béton de lave absorbant les sons. Ils reposent sur des semelles superficielles et des longrines de liaison en béton armé et sont fixés verticalement sur des poteaux métalliques cintrés de type H. Ces panneaux préfabriqués forment un mur dont la hauteur varie entre 3 et 5 mètres.

L'écran Préfacoustic

ID BAT, membre du groupement titulaire du lot écrans acoustiques, a été chargé de la conception et de la réalisation des éléments préfabriqués. Ces éléments comportent deux types de finition :

- ◆ la face côté autoroute est constituée d'un béton absorbant à base de pouzzolane et d'argile expansée du procédé Préfacoustic ;
- ◆ la face côté riverains est constituée par un bé-

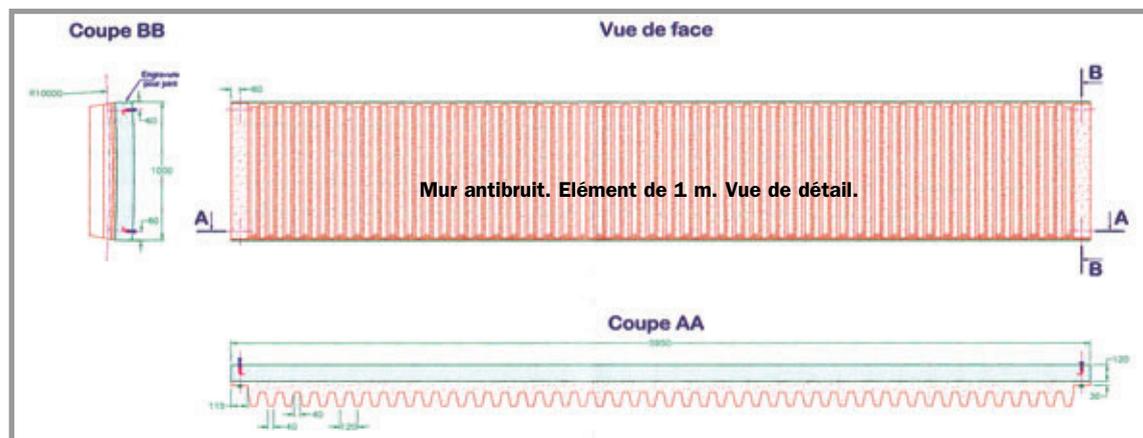
ton de structure B35GS. Cette face fait l'objet d'un traitement architectural particulier consistant à réaliser une modénature de joints horizontaux et d'un traitement de surface par sablage.

Tous ces éléments, d'une surface de 6 546 m², sont préfabriqués sur le site de Saint-Nazaire-en-Royans (usine de 3 500 m²), dans des outillages métalliques spécialement conçus pour la réalisation de ces murs.

Ces éléments de 1,20 m ou 1 m de hauteur et de 6 mètres de long sont insérés dans des profilés métalliques cintrés en acier galvanisé. La forme incurvée du mur nécessite la réalisation d'éléments s'adaptant parfaitement à la géométrie des poteaux métalliques. Des joints entre les plaques et au droit des liaisons poteaux - plaques béton assurent l'étanchéité au bruit.

Les mises au point techniques et architecturales ont été validées par la réalisation d'un prototype dans l'usine de préfabrication.

Des essais acoustiques entrepris par le CEBTP ont confirmé les performances de l'écran Préfacoustic et leur adéquation avec les exigences d'AREA.



Alain Perazio



GÉRANT
ID BAT

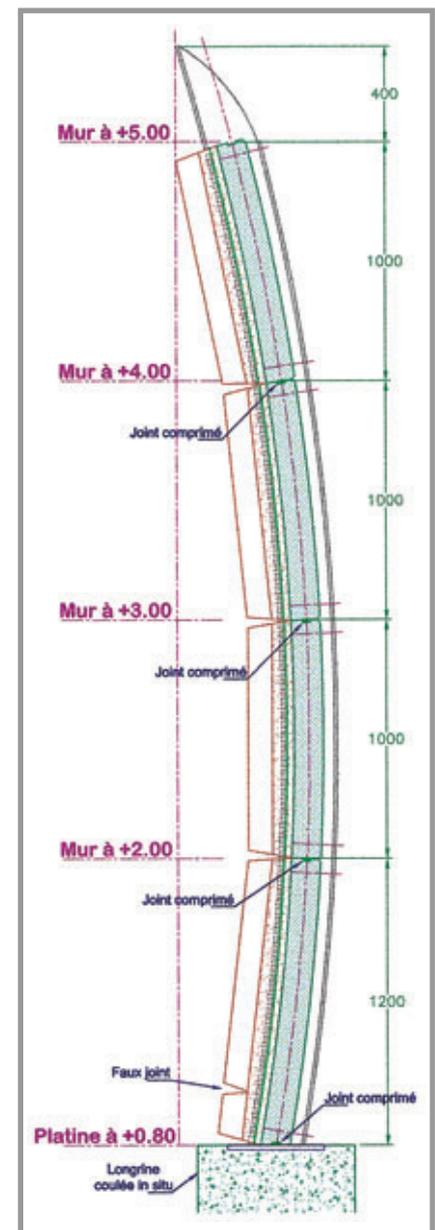
LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Entreprises

Groupement ID BAT - Périno-Bordone
- Royans Travaux

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Surface des murs : 6 546 m²
- Habillage des sorties de tunnel : 2 400 m²
- 2 900 m³ de béton de fondation
- 250 t d'acier pour les armatures
- 100 t pour les supports d'écrans





© J.-M. Huron

La centrale d'enrobés
The asphalt mixing plant



© S. Chappaz

L'AIRE DE FABRICATION DES ENROBÉS

La centrale d'enrobage est installée sur la commune de Claix, au raccordement à l'A 480, dans la zone d'activité artisanale au lieu-dit "Aux Bauches".

L'aire exploitée, d'une surface globale d'environ 4 ha, est mise à disposition de l'entreprise par AREA, dans le cadre d'une convention d'occupation temporaire avec la commune de Claix. Cette convention prévoit notamment le remblaiement global préalable de la zone (environ 30 000 m³ de matériaux d'apport, principalement issus du forage des tunnels, ont été mis en œuvre), ainsi que la constitution des voiries, après remise en état de fin d'exploitation. Environ 160 000 t d'enrobés sont fabriquées au départ de cette aire.

Les granulats pour fabrication des matériaux hydrocarbonés sont ainsi approvisionnés en deux phases distinctes, la capacité de stockage sur site étant d'environ 40 000 m³.

Les granulats pour couches de base et de liaison sont des silico-calcaires issus du gisement d'Izeaux, et approvisionnés sur site par la route. Les granulats pour couches de roulement sont des granites-amphibolites issus de l'exploitation de La Patte (69). Leur approvisionnement se fait par chemin de fer, en gare de Pont-de-Claix, puis par la route.

La centrale de fabrication des enrobés est un TSM 25 Senior. Son débit nominal est de 300 t/h

pour une teneur en eau des granulats de 5 %, et une élévation de température de 150 °C.

Le BBAO est formulé à base de bitume 35/50, avec ajout de 0,6 ppc de polyéthylène (PE) PR Plast C.

Approvisionné en *big-bags*, l'additif PE est dosé volumétriquement en trémie et introduit à l'aide d'une vis dans l'anneau de recyclage du TSM 25.

L'exploitation de cette unité de fabrication, en site périurbain, impose des mesures de protections particulières équivalentes à celles applicables à une unité de production "fixe".

L'arrêté préfectoral relatif impose ainsi la mise en place de dispositifs de protection particuliers en termes de bruit (niveau limite admissible égal à 65 dB (A) en limites de plate-forme ; installation à l'arrêt les samedis, dimanche, jours fériés et nuits de 20 heures à 7 h 00), de recueillement des eaux pluviales (aire de fabrication étanche, acheminement des écoulements vers des bassins de décantation avant restitution dans le milieu naturel, analyses d'eau avant rejet) et de gestion des poussières et rejets atmosphériques (mesures en continu des rejets au moyen d'un opacimètre, mesures des retombées sur le sol en SO₂, arrosage permanent des pistes de circulation...).

L'ensemble de ces dispositifs est démonté lors du réaménagement général du site.

DES PARTIS PRIS ET DES CONTRAINTES PARTICULIÈRES

Les seize kilomètres de l'autoroute A 51, section Le Serf - Coynelle, ont, du point de vue des chaussées, un certain nombre de particularités avec lesquelles l'entreprise a dû composer. On distingue ainsi globalement deux complexes de roulement différents en section courante :

- ◆ les quatre premiers kilomètres de la section sont traités avec une couche de roulement en enrobés drainants (BBDr), permettant ainsi l'homogénéité avec le revêtement de l'A 480, et répondant aux contraintes acoustiques liées à la proximité des riverains. Ce BBDr (Drainovia), de granulométrie 0/10, est mis en œuvre en 4 cm d'épaisseur sur un béton bitumineux semi-grenu ;

- ◆ sur le reste du tronçon, soit à partir du tunnel d'Uriol, le BBDr est abandonné du fait des problèmes d'étanchéité dans la traversée de la plaine de Reymure et des inconvénients qu'il présente au regard de la formation prématurée de verglas. Le BBTM est ainsi privilégié, ce dernier présentant par ailleurs un état de surface répondant aux critères de sécurité et de confort de l'automobiliste fixés par AREA. Ce BBTM (Rugovia T.M.), de granulométrie 0/10, est mis en œuvre en 2,5 cm d'épaisseur sur un béton bitumineux anti-orniérant. La densité importante d'ouvrages d'art (tunnels d'Uriol et du Petit-Brion, viaducs de la Rivoire, du Crozet et SNCF, tranchée couverte du Serf, gare de péage en pleine voie du Crozet) a généré par ailleurs une véritable "mosaïque" de structures de chaussées. Enfin, la réalisation de "chaussées progressives", ainsi que les caractéristiques réduites des trois derniers kilomètres de ce tronçon (au raccordement au giratoire de Coynelle), sont autant d'éléments qui ajoutent à la spécificité d'une autoroute successivement périurbaine (dans la continuité de l'A 480) et montagnaise (le profil en long accuse une rampe moyenne de 4,5 %). Dans le cas d'A 51, le concept de "chaussées progressives" consiste en une réduction de l'épaisseur des couches d'enrobés mises en œuvre à la construction, pour les compenser par des entretiens rapprochés.

LES STRUCTURES

En section courante

Dans la plaine du Lavanchon, jusqu'à l'entrée du tunnel d'Uriol :

chaussées

Christian Bel



DIRECTEUR DE TRAVAUX
Eurovia G.P.I.

- ◆ couche de fondation : de 11 (TPC) à 15 cm (BAU) de GNT 0/20;
- ◆ couche de base : de 11 (TPC) à 14 cm (BAU) de GB 0/14;
- ◆ couche de liaison : 6 cm de BBSG 0/10;
- ◆ couche de roulement : 4 cm de BBDr 0/10.

Dans la plaine de Reymure :

- ◆ couche de fondation : de 11 (TPC) à 15 cm (BAU) de GNT 0/20;
- ◆ couche de base : 9 cm de GB 0/14;
- ◆ couche de liaison : 5 cm de BBAO 0/10;
- ◆ couche de roulement : 2,5 cm de BBTM 0/10.

Du viaduc du Crozet à la bretelle de Coynelle :

- ◆ couche de fondation : de 13,5 (TPC) à 20,5 cm (BAU) de GNT 0/20;
- ◆ couche de base : 9 cm de GB 0/14;
- ◆ couche de liaison : 5 cm de BBAO 0/10;
- ◆ couche de roulement : 2,5 cm de BBTM 0/10.

Les ITPC, au nombre de dix, sont structurées à l'identique de la portion de section courante à laquelle elles sont rattachées.

L'ensemble des BDG et des BAU est traité de façon similaire, la GB étant toutefois remplacée par de la GNT 0/20. Ce dernier traitement exclu néanmoins les trois derniers kilomètres de l'ouvrage (à profil réduit), réalisés en pleine largeur.

Les refuges, au nombre de 36 pour les deux sens de circulation (dont pas moins de 23 pour les six derniers kilomètres), sont traités dans le prolongement de structure de la BAU contiguë.

Sur l'ensemble des passages inférieurs non enterrés, la réalisation des chaussées est faite dans sa version définitive. Le différentiel d'épaisseur est ainsi compensé par un rattrapage des niveaux à l'approche de ces ouvrages.

Les échangeurs

Les chaussées des bretelles des échangeurs ont pour structure :

- ◆ couche de fondation : 15 cm de GNT 0/20;
- ◆ couche de base : 12 cm de GB 0/14;
- ◆ couche de liaison : 5 cm de BBSG 0/10;
- ◆ couche de roulement : 2,5 cm de BBTM 0/10.

Les tunnels

Une moquette drainante est préalablement mise en place sur le radier béton des tunnels d'Uriol et du Petit-Brion. La structure des chaussées pour chacun des quatre tubes des tunnels, est la suivante :

- ◆ couche de fondation : 15 cm de GRH 0/20;

- ◆ couche de base : 10 cm de GB 0/14;
- ◆ couche de liaison : 6 cm de BBSG 0/10;
- ◆ couche de roulement : 2,5 cm de BBTM 0/10.

La barrière de péage provisoire du Crozet

Compte tenu de la prise en compte des effets de charges liés au freinage et au démarrage des véhicules, la structure des chaussées est renforcée par intégration d'une couche de grave bitume supplémentaire (en fondation) de 9 cm d'épaisseur. Ce renforcement est appliqué sur la section de 300 ml axée sur la gare de péage (PK 8.700). La plate-forme de péage proprement dite (partie située entre caniveaux transversaux et abritant les installations de péage) est réalisée pour 2/3 en enrobés, et pour 1/3 en béton. La partie béton couvre

Les chaussées sont un des éléments les plus importants d'une autoroute. Elles déterminent les conditions de circulation et sont garantes de la sécurité et du confort de l'automobiliste. Elles font l'objet de la part du gestionnaire d'un soin particulier : nettoyage, entretien hivernal... et intervention tous les dix ans en moyenne, pour une remise à neuf du tapis.

Les chaussées sont soumises à rude épreuve, elles doivent faire face à des variations de température, de -30 à +60 °C, aux passages de convois exceptionnels... sans subir de dégradations importantes.

La réalisation des chaussées peut coûter jusqu'à 20 % du coût total de la construction de l'autoroute. Or, le trafic attendu sur des sections nouvelles est rarement en adéquation avec les structures de chaussées réalisées. La solution retenue par AREA : les chaussées progressives.

Dès la création d'AREA, en 1971, les entreprises de travaux publics, premiers actionnaires de la société, à la recherche d'un programme économique assurant une compatibilité entre investissements et recettes de péage futures, ont imaginé ce système de chaussées progressives.

L'avantage économique est non négligeable pour une société concessionnaire d'autoroutes. L'investissement de départ est plus faible et l'investissement intermédiaire plus conséquent



est compensé par les recettes de péage accumulées entre la mise en service et les premiers travaux de rechargement.

L'économie se fait au niveau de la réduction de l'épaisseur des couches de chaussées mises en œuvre à la construction, réduction suppléée par des entretiens plus rapprochés.

Il est cependant nécessaire de prendre en compte lors de la conception de la structure de chaussée, non seulement des contraintes liées à l'exploitation de celle-ci, mais aussi les notions de protection au gel, d'orniérage et d'état de surface qui peuvent alors être prédominantes. Le concept de chaussées progressives est intéressant lorsque les prévisions établissent une évolution lente du trafic. A l'exception de l'autoroute A 43, vers le tunnel du Fréjus, cette démarche a été mise en œuvre sur l'ensemble du réseau AREA, avec un programme de renforcement tous les sept ans. Cette échéance a été portée à dix ans du fait du bon comportement des chaussées initiales. Après deux rechargements de structure, l'entretien est devenu courant, avec uniquement des reprises de surface.



Bernard Miet
DIRECTEUR TECHNIQUE
ET DES INVESTISSEMENTS
AREA

**L'autograde
en action**
*The autograde
in action*



© S. Chappaz

**Raccordement
à Coynelle**
*Connection
at Coynelle*



© S. Chappaz

■ LA RÉALISATION

La GNT 0/20, constituant la couche de fondation des chaussées de la section courante du présent tronçon, est fabriquée à partir d'une installation de criblage-concassage (unité mobile du groupement Chaussées Eurovia Grands Projets et Industries/Perrier T.P./T.S.S.) implantée dans le déblai du Crozet.

La reprise sur stock de la GNT s'est faite essentiellement par chargeuses à pneus, de type Volvo L180, le transport étant assuré jusqu'au site de mise en œuvre par des semi-remorques.

L'atelier de mise en œuvre comprend un atelier de préréglage composé d'une niveleuse Caterpillar 140G (éclatement des tas), d'une niveleuse Caterpillar 12G (préréglage), et de trois compacteurs tandem Dynapac CC 501. Le préréglage (guidage aux nivelettes) est effectué + 3 cm de la cote théorique. Un complément d'arrosage est apporté, et il est fonction de la teneur en eau de la GNT mise en œuvre.

Le découpage de la couche s'effectue ensuite, avec un décalage moyen d'une demi-journée, au moyen d'un autograde CMI TR 501 guidé sur un plan laser (tolérance altimétrique +/- 1 cm). La largeur de découpage est de 8,60 m, le matériau raboté étant mis en cordon en BAU.

Le post-compactage des matériaux foisonnés (après réglage à l'autograde) est assuré par un compacteur à pneu PS500, et par un compacteur tandem vibrant CB 624.

L'application d'un enduit de cure suit (1 200 g/m² de bitume résiduel d'une émulsion de bitume dosée à 65 % + 8 l/m² de gravillons 6/10) et précède un préréglage des cordons en BAU (afin d'éviter l'imprégnation d'eau du matériau raboté) effectué au moyen d'un alimentateur latéral Barber Greene. Les BAU ainsi préréglées, la réalisation des ouvrages d'assainissement de surface positionnés en rive (cunettes et caniveaux à fente) est entreprise. Suit le réglage définitif au moyen de l'alimentateur latéral; le compactage étant assuré par un cylindre CC 501 et un compacteur à pneus PS 500.

Les enrobés sont fabriqués par un poste mobile TSM 25 Senior installé sur le site, à l'origine du chantier (raccordement à l'A 480). Le tonnage total fabriqué est d'environ 160 000 t. Celles-ci sont mises en œuvre, en section courante, par l'atelier type suivant :

- ◆ finisseur ABG Titan 511 + table grande largeur Duotamps;
- ◆ alimentateur en continu Franex;
- ◆ finisseur Titan 511 + table extensible 3,00 - 6,00 m (jusqu'à deux finisseurs extensibles de ce type pour la couche de roulement);
- ◆ compacteurs tandem Dynapac CC501 (jusqu'à quatre unités).

Le guidage en nivellement se fait, pour la grave bi-



les deux voies centrales de la gare de péage ainsi que l'emplacement de la maxi cabine (soit en tout, 13 m x 23,70 ml). Elle est principalement destinée au passage des poids lourds. La structure correspondante est de 20 cm de béton maigre dosé à 200 kg de ciment/m³ et surmonté de 25 cm de béton de dalle B 35 gel + sel, dosé à 350 kg de ciment/m³ et fibré à raison de 900 g/m³. La partie en enrobés couvre les six voies extérieures de la gare (trois en ouest et trois en est).

La structure des chaussées est la suivante :

- ◆ couche de fondation : 13 cm de GNT 0/20;
- ◆ couche de base : 10,5 cm de GB 0/14;
- ◆ couche de liaison : 9 cm de GB 0/14;
- ◆ couche de roulement : 6 cm de BBAO 0/10 avec liant R15 (Rexovia).

Cette structure hydrocarbonée, inhabituelle pour les plates-formes de péage, répond aux contraintes de mise en service et d'un démontage futur de cette gare de péage provisoire.

Le Rexovia présentant un excellent comportement sous trafic lourd, canalisé, lent (même à température enlevée), sans pour autant que sa souplesse et sa durée de vie soient compromises à basse température est ainsi mis en place en couche de roulement.

tume uniquement, par poutres enjambeuses de 18 ml. Les couches de liaison et de roulement sont elles, appliquées "vis calées".

Les tunnels font l'objet d'une application particulière, l'ensemble des couches d'enrobés est appliqué au moyen d'un seul finisseur répandant en grande largeur : 11 m pour le tunnel d'Uriol, 8 m pour celui du Petit-Brion.

Deux ventilateurs mobiles (déplacés au fur et à mesure de l'avancement de l'atelier à l'intérieur des tubes) assurent la ventilation nécessaire à l'exécution de ces travaux.

La mise en œuvre des enrobés sur les seize premiers kilomètres de la section Grenoble - Col du Fau a démarré en août 1998 pour s'achever à la fin juillet 1999, en composant avec une période hivernale particulièrement rigoureuse.

Un déploiement de moyens humains exceptionnel aura notamment permis, de la phase études jusqu'à l'achèvement des travaux, le respect des échéances fixées par le maître de d'ouvrage.



**Les finisseurs
en action**

*The pavers
in action*

© S. Chappaz

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Groupement Eurovia G.P.I./T.S.S./Perrier T.P.



La centrale

Centrale de concassage installée dans le déblai du Crozet
Crushing mill installed in the Crozet cutting



© S. Chappaz

Dans le cadre du marché chaussée de l'autoroute A 51, section Grenoble - Coynele, confié au groupement d'entreprises Eurovia/TSS/Perrier TP, la mission de Perrier TP à travers son département Granulats et U.M.P.G. (Unité mobile de production de granulats) est d'assurer :

- ◆ la fourniture extérieure des granulats chaussée sur l'aire d'enrobage de Claix soit 150 000 t de matériaux répartis en : 70 000 t de sable 0/4, 10 000 t de gravillons 4/6, 20 000 t de gravillons 6/10, 20 000 t de gravillons 10/14 et 30 000 t de gravillons 4/10 – pour GB 0/14 et BB 0/10;
- ◆ l'élaboration de 190 000 t de GNT 0/20 à partir de graves alluvionnaires provenant du déblai du Crozet, utilisées en couche de réglage de la plate-forme et en remblaiement de B.A.U. et T.P.C.

■ ÉLABORATION DES 190 000 TONNES DE GNT 0/20 À PARTIR D'UNE UNITÉ MOBILE DE PRODUCTION

La demande d'installation classée relative à l'installation de la centrale de criblage-concassage dans le déblai du Crozet a été instruite bien à l'amont des travaux, permettant ainsi le démarrage du montage de l'installation dès la notification du marché, après déclaration, en préfecture, du changement d'exploitant.

L'étude d'impact ayant été menée en même temps que le dossier de consultation des entreprises, les dispositions particulières retenues dans l'arrêté préfectoral, relatives à la protection de l'environnement et déduites de l'étude d'impact, avaient été anticipées au niveau de la rédaction des pièces écrites du marché et n'ont pas donné lieu à des modifications sensibles au niveau de l'installation de traitement des matériaux.

Caractéristiques de la GNT 0/20 à produire et des graves naturelles à traiter

Les 190 000 tonnes de GNT 0/20 à produire sont de type A suivant la norme NF P 98129, conformes au fuseau de spécification de la même norme et ayant les caractéristiques suivantes :

- ◆ graves de catégorie D suivant la norme XP P 18 540 (L.A. ≤ 35 M.D.E. ≤ 30 et L.A. + M.D.E. ≤ 55), alors que le gisement des graves du Crozet est de catégorie C (L.A. ≤ 30 M.D.E. ≤ 25 et L.A. + M.D.E. ≤ 45) de fabrication :
- ◆ graves de catégorie b suivant la norme XP P 18 540,

- $P_s \geq 50$ ou $V_b 0/D \leq 08$ (selon norme P^r EN 933.9),
- pourcentage de fines moyen : 6 %,
- indice de concassage : $IC \geq 40$.

Le déblai du Crozet

Les matériaux à concasser proviennent du déblai du Crozet (PK 8.250 à PK 9.600). Il s'agit d'un dépôt fluvio-glaciaire constitué de sables et de graviers.

Parmi les quatre principales formations géologiques identifiées au sein de ce déblai, les graves sableuses propres D3 sont destinées à l'alimentation de la centrale d'élaboration de la GNT 0/20. Les autres matériaux sont extraits pour couvrir les besoins du chantier en matériaux de remblai, de couche de forme ou mis en merlons de modelage ou en dépôt définitif suivant leur nature.

L'extraction et la sélection des graves sableuses D3 ont été menées simultanément avec l'exploitation générale du déblai du Crozet dans le cadre du TOARC 2 confié aussi à Perrier TP. Le fait de n'avoir qu'une seule entreprise pour réaliser deux marchés différents à partir d'un même déblai a permis d'optimiser la sélection des matériaux tout en préservant les intérêts de chacun des deux marchés.

Les graves sableuses D3 étant recoupées à environ 15,00 m de profondeur, le déblai a été exploité en "tiroirs" de manière à découvrir les graves D3 destinées à l'installation de concassage tout en réutilisant les matériaux plus argileux de couverture pour les besoins des terrassements généraux.

De même, au sein des graves D3, les lentilles et veines franchement sableuses ou argileuses étaient directement évacuées vers le chantier de terrassement garantissant ainsi une alimentation homogène de l'installation de concassage et une production quasiment nulle de stériles de précriblage.

L'atelier d'extraction était composé d'une pelle type Liebherr 954 ou d'une chargeuse sur pneu type CAT 980C et de deux ou trois tombereaux type A25C en fonction des niveaux et de la distance de transport qui a varié dans le déblai de 600 à 800 m.

Installation de la centrale dans le déblai du Crozet

D'une profondeur de 25 à 30 m par rapport au terrain naturel, le déblai du Crozet, d'une longueur de 1 400 m se trouve "coincé" entre, au nord-est, le

de concassage

Bernard Ollier



RESPONSABLE DES
U.M.P.G. (UNITÉ MOBILE
DE PRODUCTION
DE GRANULATS)
Perrier TP

viaduc de La Rivoire et, au sud-ouest, les viaducs du Crozet en cours de construction au moment des travaux de concassage.

La centrale de criblage-concassage s'est donc "tout naturellement" trouvée implantée en fond de déblai, sur une demi plate-forme autoroutière (l'autre demi plate-forme étant réservée à la circulation de chantier). L'entreprise a réussi à développer son installation sur une surface de 150 m de longueur et 20 m de largeur conduisant à des difficultés de nettoyage, d'entretien et de maintenance dues au fait que les tapis transporteurs n'ont pu être développés "en étoile" autour des appareils (cribles, trémies et concasseurs) qu'ils desservent.

Cette installation a présenté un caractère de "confinement" peu compatible avec le critère d'accessibilité nécessaire à un bon entretien et donc à une plus grande sécurité des personnes.

Malgré cela, aucun accident n'a été à déplorer sur l'installation.

Les délais d'exécution

Implanter l'installation de criblage-concassage sur la plate-forme autoroutière a conduit à un planning et délai de production draconiens liés surtout au planning de libération des plates-formes d'autant plus que l'installation se situait en limite de la gare de péage à construire et dont le démarrage des travaux était conditionné par le démontage de la centrale de concassage.

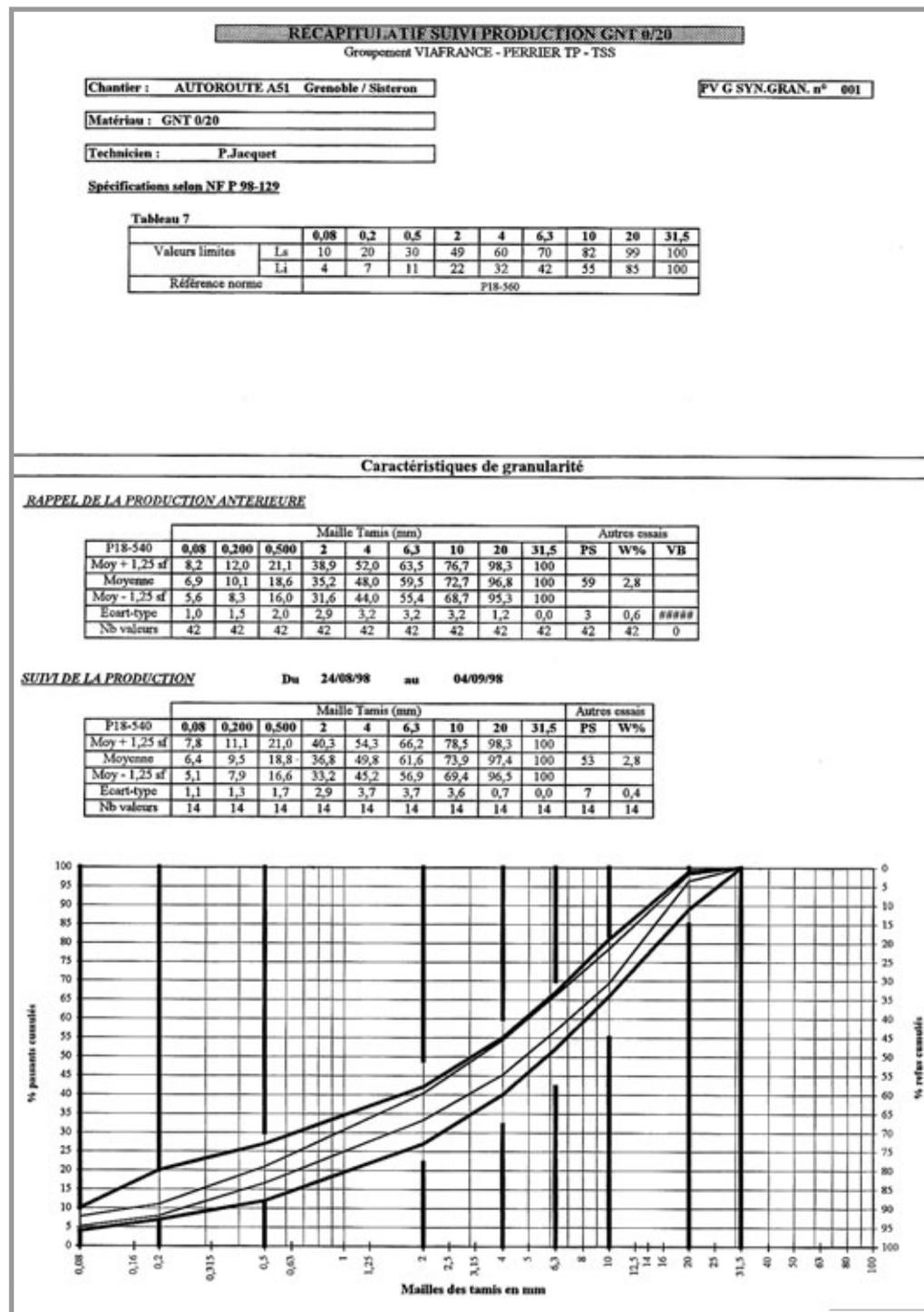
Les 190 000 t de GNT 0/20 ont été produites durant les mois d'août, septembre et octobre 1998 à la cadence de 16 000 t/semaine sur une plage de production journalière de 12 heures soit un débit instantané de l'installation de 400 t/heure pour un débit moyen de 270 t/heure (coefficient d'efficacité de 0,66) lié surtout à la discontinuité dans l'alimentation résultant de la sélection des matériaux à l'extraction.

LA CENTRALE DE CONCASSAGE

Elle est composée :

- ◆ d'un alimentateur précribleur de 1 000 x 4 500, à barreaux divergents pour écrêtage des graves alluvionnaires à 120 mm et élimination des galets et blocs supérieurs à 120 mm, surmonté de sa trémie d'alimentation de 20 m³ de capacité directement alimentée au tombereau articulé de 25 ou 30 t à la cadence de 400 t/heure.

Globalement, la fraction supérieure à 120 mm a



Caractéristiques de granularité

Gradation characteristics

été plus importante que ne le laissait prévoir la reconnaissance géotechnique (environ 5 % du gisement soit 20 t/heure). Cette fraction a été remélangée aux graves naturelles et réutilisée en remblais autoroutiers.

- ◆ d'un crible primaire Remex de 10 m² (2 000 x 5 000) à trois étages pour coupure des graves 0/120 mm à 10 mm et à 20 mm :

- la fraction 0/10 mm (45 % du gisement soit 180 t/h

- ▶ de sables grossiers 0/10 mm roulés) est remélangée à la GNT 0/20 produite,
 - la fraction 10/20 mm (15 % du gisement soit 60 t/h) alimente l'autobroyeur BM100 par l'intermédiaire de sa trémie tampon,
 - la fraction 20/120 (35 % du gisement soit 140 t/h) alimente le giratoire primaire 54FHM par l'intermédiaire de sa trémie tampon;
 - ◆ de deux concasseurs dont :
 - un autobroyeur à axe vertical Barmac type BM100 (P = 132 kW) avec sa trémie tampon de 20 m³ et qui tourne en circuit fermé sur un crible Dragon 10 m² - quatre étages type VP4 150 x 650 pour production de 60 t/h de GNT 0/20 IC 50 (50 % de 0/10 IC 100 dans les 60 t/h de GNT 0/20 produites),
 - un giratoire primaire Dragon type 54FHM (160 kW) avec sa trémie tampon de 20 m³ et qui tourne en circuit fermé sur le même crible DYB VP4 150 x 650 pour la production de 140 t/h de GNT 0/20 IC 100,
 - ◆ du crible Dragon 10 m² - quatre étages type VP4 150 x 650 pour calibrage de la grave non traitée 0/20 produite et recyclage des > 20 mm aux concasseurs.
- La fraction 0/10 roulée naturelle est réincorpo-

rée à la GNT 0/20 produite en sortie du crible Dragon 10 m²;

- ◆ d'une trémie de préstockage de 50 t de la GNT 0/20 produite pour déstockage en continu de la production à partir de tombereaux articulés ou *dumpeurs* de 35 t.

Compte tenu du peu de place disponible, cette trémie n'a pu être équipée de sa surverse, ce qui a conduit à des interruptions de production lorsqu'il y avait discontinuité dans l'atelier de déstockage et notamment lorsque l'aire de mise en stock de la GNT était située de l'autre côté du viaduc du Crozet, à 1 500 m de la centrale d'élaboration;

- ◆ d'un ensemble de quinze tapis transporteurs de 600 à 800 mm de largeur en fonction des débits et de la granulométrie des matériaux à convoyer et de longueur variable (8 à 30 m) en fonction de la hauteur des appareils à alimenter.

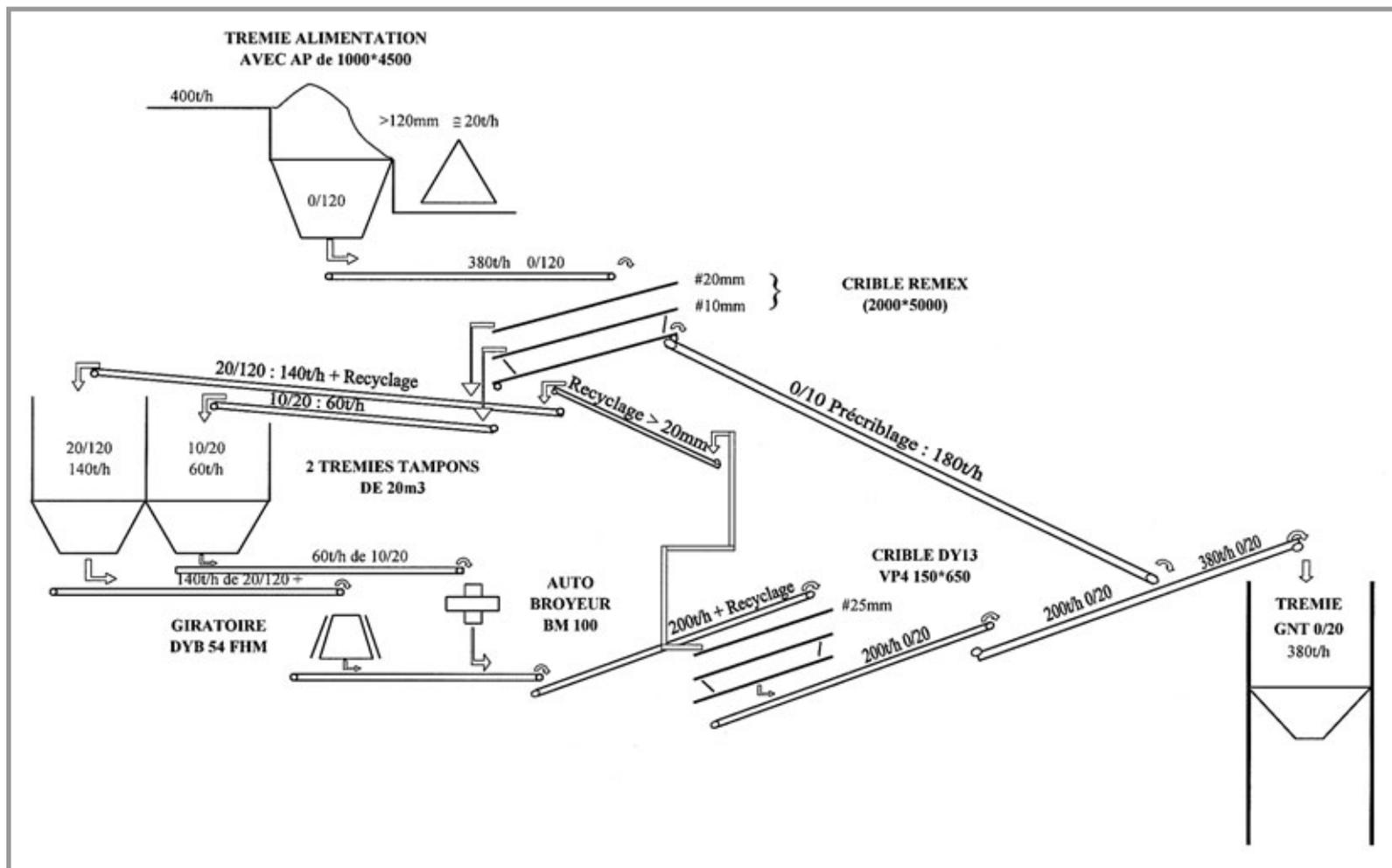
Performances de la centrale

Telle que définie, la puissance totale de la centrale d'élaboration de la GNT 0/20 atteint 525 kW répartis sur vingt-sept moteurs dont :

- ◆ puissance de broyage : 300 kW sur deux moteurs;

Circuit des matériaux de la centrale pour GNT 0/20

Circuit of materials in the plant for 0/20 untreated aggregate



- ◆ scalpage et criblage : 60 kW sur quatre moteurs ;
- ◆ manutention des matériaux : 160 kW répartis sur dix-huit moteurs pour quinze tapis transporteurs.

La fourniture de l'énergie est assurée par un groupe électrogène de 1 000 kVA. Ce type d'installation mise en œuvre est plutôt du type semi-fixe que groupe mobile. Elle est constituée d'éléments transportables ou tractables aux dimensions allant du gabarit routier au convoi exceptionnel.

Chaque appareil entrant dans la chaîne d'élaboration est monté sur châssis constituant un ensemble transportable et dont la mise en place se limite à de simples manutentions à la grue.

Ces différents appareils sont reliés entre eux par des tapis transporteurs repliables afin de rendre leur longueur de transport compatibles avec la réglementation.

Compte tenu de la répartition granulaire moyenne des graves D3 traitées et du circuit des matériaux retenu au niveau de la centrale d'élaboration, il a été possible de produire une GNT 0/20 conforme aux spécifications et en particulier au respect de l'indice de concassage sans avoir à éliminer la fraction 0/10 mm naturelle.

Equipements électriques et automatisme

Le groupe électrogène de 1 000 kVA alimente une cabine puissance qui regroupe la totalité des équipements et protections électriques de l'ensemble

des vingt-sept moteurs répartis sur l'installation. L'installation est pilotée par un automate programmable qui gère les phases de mise en route et arrêt ainsi que la phase production à partir de :

- ◆ détecteurs de rotation et palpeurs de veines implantés sur les bandes transporteuses ;
- ◆ sondes de niveaux implantées sur les trémies tampon et dans la cuve du giratoire primaire ;
- ◆ boucles de régulation montées entre les broyeurs et l'extracteur électromagnétique équipant les trémies tampons.

A la mise en route de l'installation, un organisme agréé (AIF dans le cas présent) est venu vérifier la conformité électrique des installations.

Equipements de sécurité

Les appareils mis en œuvre disposent des équipements de sécurité propres à ce type d'installation classée et définis par le RGIE (Règlement général des industries extractives), c'est-à-dire :

- ◆ arrêt coup de poing sur les charpentes des appareils (cribles et concasseurs) ;
- ◆ câbles d'arrêt d'urgence sur les convoyeurs avec protection des coins rentrants ;
- ◆ escaliers et passerelles de visite sur les châssis supports des appareils (cribles et concasseurs),
- ◆ barreaudage sur les trémies tampons.
- ◆ etc.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

La centrale de concassage a fait l'objet d'études pour évaluer son impact sur l'environnement et déterminer les éventuelles mesures à prendre pour supprimer, réduire ou compenser ses nuisances sur celui-ci.

Ainsi, afin de préserver la qualité de l'eau, celle de ruissellement non infiltrée transite par des fossés latéraux avant de rejoindre les bassins de décantation.

De même, la centrale est placée directement sur la plate-forme autoroutière, à trente mètres de profondeur par rapport au terrain naturel, ce qui forme une protection acoustique efficace.

LE PERSONNEL ET MATÉRIELS AFFECTÉS AU CHANTIER

En poste américain sur la plage horaire 7h00 - 19h00

Extraction des graves D3 dans le déblai du Crozet et alimentation de l'installation

- Une pelle Liebherr 954 ou une chargeuse sur pneu type 980C
- Deux ou trois tombereaux A25C en fonction de la distance de transport et de la densité des veines d'impropres

Production

- Un chef de production
- Un aide

Déstockage des productions

- Un tombereau de 35 t dans la première phase des travaux où le stock de GNT est contigu à l'installation de concassage
- Quatre tombereaux de 35 t dans la deuxième phase des travaux où le stock de GNT est distant de 1 500 m de l'installation de concassage

A la journée

- Un conducteur travaux
- Un laborantin



La centrale de concassage et le tapis d'alimentation

Crushing mill and supply belt

© S. Chappaz

Les équipements

Pour garantir la protection des automobilistes et de l'environnement, l'autoroute A 51 intègre différents équipements de sécurité, limitant les risques de collision et leurs conséquences.

D'autres dispositifs, propres à la gestion même de l'infrastructure, permettent à AREA de gérer en temps réel le trafic sur A 51 et les événements pouvant y survenir.



Glissières doubles
Double guides

© S. Chappaz

tallique double ou de deux glissières simples. Dans les zones sensibles, telles que les accotements en crête des murs en remblai, au niveau des écrans acoustiques et des très hauts remblais, la protection est assurée par une glissière béton.

Les interruptions de terre-plein central

Permettant le basculement de la circulation d'une voie sur l'autre, l'interruption de terre-plein central (ITPC) est indispensable pour neutraliser une chaussée de l'autoroute en cas d'accident grave ou pour conduire des travaux d'entretien sur la plate-forme. Les ITPC se caractérisent par des glissières démontables sur une longueur de 32 m. Cette section d'A 51 en dénombre dix, soit environ une tous les 1,5 km.

Les dispositifs propres aux ouvrages d'art

Au droit des nombreux ouvrages d'art disséminés sur A 51, les dispositifs de retenue se différencient selon la nature de l'obstacle que ces ouvrages peuvent représenter pour un véhicule en perte de contrôle.

Par exemple, le viaduc de La Rivoire, comme les viaducs et les ouvrages de franchissement SNCF du Crozet, intègre des dispositifs de retenue métalliques plus rigides, qui permettent d'éviter à un poids lourd en détresse de sortir du tablier de l'ouvrage. Les ouvrages de franchissement de l'autoroute, en passage supérieur, sont équipés pour la majorité d'entre eux d'une barrière à barreaudage vertical.

Les merlons paysagers

Dans les plaines du Lavanchon et de Reymure, les merlons (buttes en terre) réalisés pour assurer la protection acoustique des habitations proches permettent aussi de contenir les véhicules accidentés sur la plate-forme autoroutière.

Le lit d'arrêt d'urgence

Dans le sens Sisteron - Grenoble, A 51 traverse le plateau des Marceaux avant d'entamer une longue descente vers le site du Crozet. Cette dénivelée importante étant susceptible d'affecter les systèmes de freinage des poids lourds, il a été décidé, après études techniques, de construire un lit d'arrêt d'urgence, 500 m en amont de l'ouvrage de franchissement SNCF du Crozet.

Vaste bac à sable, ce dispositif sert de réceptacle aux poids lourds en difficulté. Une boucle de détection reliée à une caméra permet de déclencher une alarme à CESAR, le PC de circulation

■ LES ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ

Préserver les hommes

Tout au long de son tracé, A 51 compte des équipements de sécurité destinés à limiter au maximum les conséquences d'une éventuelle sortie de chaussée d'un véhicule.

Des dispositifs, dits de retenue, sont mis en place au niveau des accotements, des pieds de portique de signalisation, des piles de pont, du terre-plein central, des ouvrages d'art...

Les différents dispositifs de retenue

Sur la majorité de la section Grenoble - Coynelle, les accotements comportent une glissière métallique ou en béton empêchant un véhicule de sortir de la plate-forme en cas de perte de contrôle. Les terre-pleins centraux (TPC) isolant les deux chaussées de l'autoroute bénéficient d'une glissière mé-

Patrick Castan



CHARGÉ DE PROJET A 51
AREA

Max Raymond



CHARGÉ DE MISSION
AREA

d'AREA. Une grue est ensuite acheminée par le chemin latéral afin d'évacuer le véhicule.

Plaine de Reymure : une sécurité renforcée

A 51 traverse la plaine de Reymure, zone de protection éloignée des captages d'eau potable alimentant Grenoble et ses environs. Pour éviter qu'un accident engendre une pollution sur les champs captants, des dispositions sont prises sur les 3,2 km concernés afin que la plate-forme étanche de l'autoroute retienne tous types de véhicules en perte de contrôle. Le dispositif de retenue utilisé sur ce site juxtapose trois éléments : en premier plan, une barrière, puis un caniveau et enfin un merlon (butte en terre).

En cas de collision ou de perte de contrôle d'un véhicule, la barrière béton de type GBA a pour objet de le maintenir sur la chaussée. Le caniveau, dont la fonction principale est hydraulique (collecte et écrêtement des eaux issues de la chaussée), fait également office de réceptacle des véhicules, en particulier des poids lourds pouvant accidentellement s'échapper de la plate-forme ; ce fossé, profond de 1 m au minimum, est recouvert d'une dalle en béton permettant le passage de piétons. Un merlon, d'une hauteur supérieure à 2 m, surplombe et renforce ce dispositif.

Les ouvrages en passage inférieur sont équipés d'un dispositif antidéversement de 3 m de hauteur qui vient surélever les barrières de sécurité, empêchant toute sortie accidentelle de poids lourds ou de leur chargement.

Une autoroute entièrement clôturée

L'accès à l'autoroute étant formellement interdit aux piétons, les clôtures disposées tout le long du tracé ont vocation d'empêcher toute intrusion qui risquerait de générer un accident. Elles permettent d'éviter aussi l'entrée de mammifères, petits ou plus grands :

- ◆ à proximité des habitations, dans le bocage du Lavanchon et près du hameau du Serf par exemple, le périmètre d'A 51 est fermé par une clôture simple dite urbaine, de 1,40 à 1,80 m de hauteur ;
- ◆ dans les zones humides caractérisées par la présence d'amphibiens comme au pied de la montagne du Petit Brion, une clôture doublée en partie basse d'un grillage à mailles fines stoppe le passage des batraciens ;



CESAR,
PC de circulation
d'AREA

*Cesar,
the AREA traffic
control centre*

© Photo AREA



Dispositif
de sécurité
sur les ouvrages d'art

*Safety device
on engineering
structures*

© S. Chappaz

- ◆ près des ruisseaux la Suze et la Marjoera, dans les contreforts du Grand Brion et dans le déblai du Poyet, une clôture doublée en partie basse d'un fil "coupe pattes" dissuade les animaux de passer en force en creusant et en soulevant le grillage ;
- ◆ dans la traversée de la montagne d'Uriol et du massif du Petit Brion, entre les deux tabliers du viaduc de La Rivoire, entre les deux viaducs du Crozet, dans les coteaux du Serf et de Saint-Martin-de-la-Cluze, une clôture faune à mailles progressives de grande hauteur empêche le passage de grands mammifères comme les chevreuils.

Accès de secours et de service

Les seize kilomètres que compte cette section d'A 51 nécessitent peu d'accès particuliers :

- ◆ la voirie locale forme un réseau dense et rapide

- ▶ que peuvent emprunter les services de secours pour intervenir sur un accident ou une panne ;
- ◆ les accès de service sont réservés aux équipes AREA assurant l'entretien de l'autoroute, et en particulier son déneigement durant l'hiver ; on en dénombre sept.

■ LES ÉQUIPEMENTS DE GESTION

La télécommunication intelligente

L'architecture des liaisons de télécommunication de la section Grenoble - Coynelle s'appuie sur RELAIS (Réseau d'Exploitation des Liaisons AREA à Intégration de Service), le réseau de fibres optiques maillant l'ensemble du réseau AREA. Cette "autoroute de l'information" achemine toutes les données indispensables pour assurer la sécurité des automobilistes et la gestion de l'infrastructure, qu'il s'agisse d'éléments informatiques, d'images ou de sons. Les câbles fournissant l'énergie et les fibres optiques supports des télécommunications d'A 51 sont regroupés dans une conduite multialvéolaire, composée de quatre fourreaux, mise en place sous la bande d'arrêt d'urgence (BAU).

Un réseau radio interne

Comme l'ensemble du réseau AREA, A 51 dispose d'une couverture en radiocommunication complète. Le personnel de maintenance technique ou d'entretien en action sur le terrain, comme les agents intervenant sur un incident, la gendarmerie ou les sociétés de dépannage, peuvent être jointes sur place immédiatement par CESAR, le centre d'entretien du Crozet ou un autre opérateur.

Le centre d'entretien du Crozet

Avec RELAIS, le centre d'entretien d'A 51 implanté sur le plateau du Crozet à Vif est relié directement à CESAR, le PC de circulation d'AREA situé à Nances, sur les rives du lac d'Aiguebelette, ainsi

qu'à toutes les autres entités de la société. Au niveau local, le centre d'entretien est en liaison directe avec les différents sites et équipements d'A 51 : tunnels, stations météo, stations de comptage du trafic...

En résumé, l'ensemble de ce dispositif assure trois fonctions essentielles : les liaisons téléphoniques internes à AREA, les liaisons entre les 38 postes d'appels d'urgence répartis sur les 16 km de la section, CESAR et le centre d'entretien, la transmission des données des stations de comptage, des stations météo, des images...

La gestion du trafic en temps réel

Les différents équipements réalisés sur A 51 permettent une gestion optimale du trafic depuis le PC de circulation CESAR, qui prend connaissance à tout moment du niveau de trafic, de la présence éventuelle d'un incident ou accident, et qui met en œuvre des moyens d'information ou d'intervention.

Les stations de comptage

Trois stations de comptage suffisent à fournir toutes les indications sur le trafic d'A 51 dans les deux sens de circulation et sur le temps d'occupation de la chaussée (détection des ralentissements) à l'endroit de leur implantation.

Les stations météo

Afin de compléter les prévisions de Météo France et la qualité de l'entretien hivernal, deux stations météorologiques sont en place, la première dans la plaine du Lavanchon (280 m d'altitude), la seconde dans la montée du Crozet vers Coynelle (580 m d'altitude).

La détection automatique d'incidents

Système pilote, la détection automatique d'incidents (DAI) est exploitée depuis 1994 sur les points particuliers du réseau AREA comme la zone de fort trafic située à l'est de Lyon (A 43). La DAI fait l'analyse de chacune des images enregistrées par des caméras de vidéosurveillance et transmise par fibres optiques à CESAR, et déclenche automatiquement une alarme dès qu'un véhicule s'arrête plus de 15 secondes sur une voie de circulation ou 40 secondes sur la bande d'arrêt d'urgence. Elle permet ainsi de prévenir très rapidement les équipes d'intervention sur le terrain et de limiter les perturbations du trafic.

Sur A 51, 13 caméras reliées au système DAI assurent la surveillance des tunnels d'Uriol, du Petit Brion et du viaduc de la Rivoire.

Par ailleurs, une caméra télécommandée depuis CESAR est spécialement dédiée aux viaducs du Crozet et au lit d'arrêt d'urgence. Couplée à la boucle de détection de celui-ci, elle permet d'alerter le PC de circulation de la présence d'un véhicule dans ce dispositif.

Borne.
Réseau d'appels
d'urgence
Terminal.
Emergency calling
network



© J.-M. Huron



A 51 - Les retombées pour l'économie locale

Tout en veillant, malgré la complexité de la situation, à réaliser des ouvrages de grande qualité, bien insérés dans leur environnement, AREA s'est particulièrement attachée à optimiser l'impact de la réalisation de l'autoroute A 51 sur l'économie locale à travers toutes ses composantes, et ce dès l'ouverture du chantier. C'est ainsi qu'elle s'est préoccupée d'associer le plus largement possible les entreprises locales, en particulier celles du bâtiment et des travaux publics. Leur activité, par les besoins qu'elle engendre, est en effet un vecteur de dynamisation de l'ensemble du tissu économique local. Les premiers bénéficiaires de ces retombées sont les services, les commerces, sans oublier le budget des communes grâce à la taxe professionnelle versée par les entreprises.

Souhaitant faire bénéficier le plus possible les entreprises locales de ce vaste chantier que représente la construction de la section Grenoble-Coynelle, AREA a divisé les travaux en de nombreux lots – près de cent marchés ont été passés – afin qu'elles puissent répondre aux appels d'offres. La sous-traitance a aussi été l'occasion pour nombre d'entre elles, en particulier les plus petites, d'être présentes.

Conformément aux dispositions de la loi LOTI (Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs), AREA a mis en place, en collaboration avec la Chambre de Commerce et d'Industrie de Grenoble, un observatoire économique du chantier A 51, qui permet aujourd'hui d'établir un premier bilan des retombées directes et indirectes de la réalisation de cette nouvelle infrastructure sur l'économie locale.

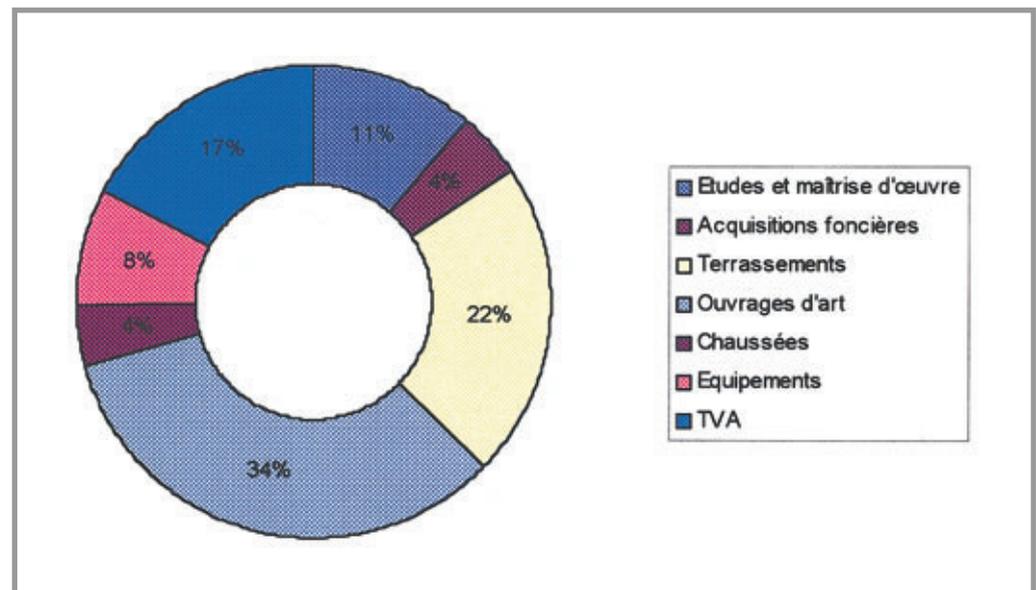
■ 1,7 MILLIARDS DE FRANCS D'INVESTISSEMENTS

Autoroute de montagne s'insérant en zone périurbaine, la section Grenoble-Coynelle exige des aménagements lourds et complexes tant du point de vue de la construction de l'ouvrage que de celui de la protection de l'environnement, tout cela géné-



© D. Halluin

Ventilation
du coût de réalisation
Breakdown
of construction



rant un coût de réalisation élevé : 1,785 milliards de francs courants (TTC).

Ces 1,785 milliards se décomposent de la façon suivante :

- ◆ études et maîtrise d'œuvre : 200 millions de francs ;
- ◆ acquisitions foncières : 80 millions de francs ;
- ◆ terrassements : 385 millions de francs ;
- ◆ ouvrages d'art : 595 millions de francs ;
- ◆ chaussées : 75 millions de francs ;
- ◆ équipements : 145 millions de francs ;
- ◆ TVA : 305 millions de francs.



© S. Chappaz

► ■ **2,2 MILLIONS
D'HEURES DE TRAVAIL**

De mars 1995, période de démarrage des travaux préparatoires, à fin juillet 1999, date de sa mise en service, la construction de ces 16 kilomètres d'autoroute représente précisément 2,225 millions d'heures travaillées sur le chantier soit l'équivalent de 300 personnes à temps plein pendant 4 ans et

demi. Première bénéficiaire de ces emplois, la main d'œuvre locale, puisqu'en moyenne sur les 4,5 années du chantier, les personnes présentes sont issues de l'agglomération grenobloise pour 37 % d'entre elles, de l'Isère (hors agglomération) pour 19 % et de France (hors Isère) pour 40 %. Cette réalisation génère en outre de nombreuses heures de travail en dehors du chantier (administratif, bureaux d'études...) et engendre une importante activité extérieure (fabricants de matériaux, fournisseurs...).

■ **UN IMPACT POSITIF
SUR LES FINANCES
DES COMMUNES TRAVERSÉES**

L'influence des différents chantiers mis en œuvre pour la réalisation d'A 51 est déjà perceptible dans les finances des deux communes principalement concernées bien que la taxe professionnelle perçue en 1997 ne corresponde qu'aux déclarations de 1995.

La contribution d'A 51 à la base de taxe professionnelle est passée de 0,39 % en 1997 à 9,22 % en 1999 pour la commune de Varcès et de 1,47 % en 1997 à 22,69 % en 1999 pour la commune de Vif.

Durant un peu plus de quatre années, A 51 aura donc insufflé de l'énergie au secteur BTP de la région. Son ouverture aura aussi permis la création de trente-quatre emplois au sein d'AREA (entretien et péage) et de la Gendarmerie nationale (un peloton).

Mise en service, A 51 constitue maintenant un facteur d'irrigation du tissu économique local, favorable à l'implantation de nouvelles entreprises et à l'arrivée de nouveaux habitants.

Bien entendu ces effets seront d'autant plus puissants que le projet pourra continuer à se développer en direction du sud.

Contrats de plan état - régions 2000-2006 : répartition régionale de l'enveloppe état

Fixée le 15 avril 1999 lors d'une réunion interministérielle, l'enveloppe que l'Etat consacra aux contrats de plan Etat - Régions 2000-2006 s'élèvera à 105 milliards de francs. Le Comité Interministériel à l'aménagement du territoire (CIADT) du 23 juillet dernier a réparti une première enveloppe de 95 milliards de francs entre les 26 régions françaises.

enveloppe Etat : 105 MdF

En consacrant 105 milliards de francs au financement des prochains contrats de plan Etat - Régions 2000-2006, l'effort de l'Etat comparé au plan 1994-1999 peut être apprécié selon des critères différents :

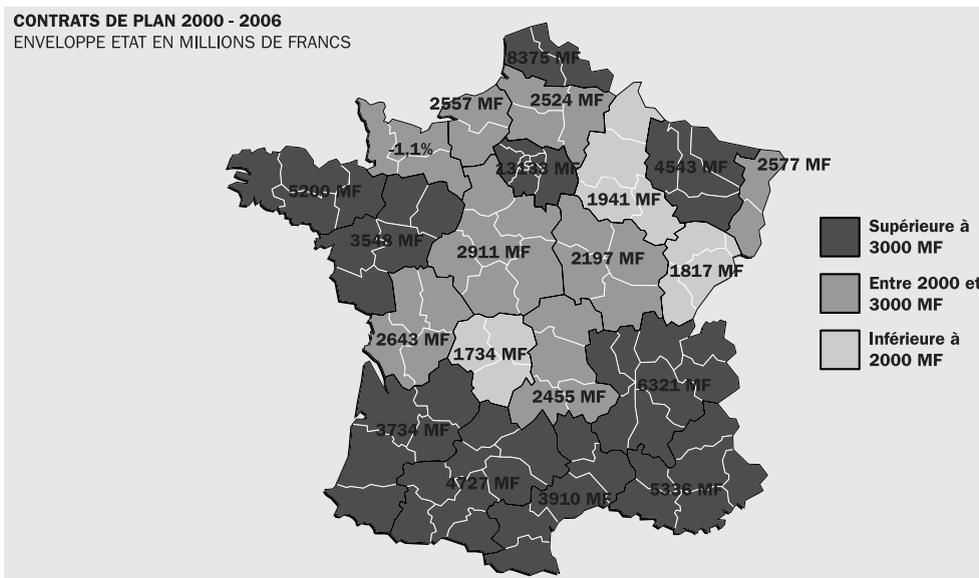
L'enveloppe annuelle de 105 MdF, en francs constants et sur un même nombre d'année, est en baisse de 5,6% par rapport aux crédits annuels 1994-1999 (88 milliards de francs sur 6 ans).

L'enveloppe annuelle de 105 MdF est en hausse de 18% comparée aux crédits réellement mis en œuvre annuellement lors du plan 1994-99 : 88 milliards de francs exécutés à 80% seulement.

répartition régionale : 95 MdF

La répartition budgétaire s'accompagne d'une lettre de mandat adressée par le gouvernement à chaque préfet de région, lui donnant des instructions pour mener à bien la phase de négociation et lui demandant notamment :

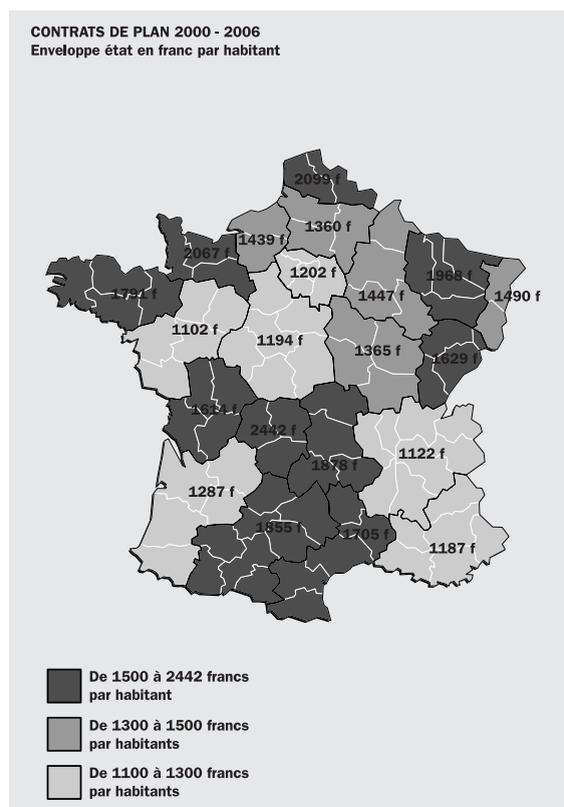
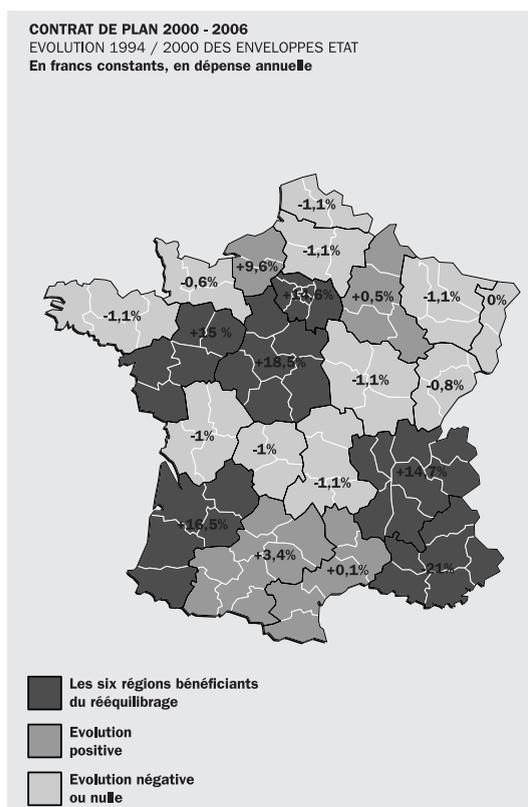
- De mettre en œuvre dans les prochains contrats de plan les trois priorités de l'Etat : emploi, développement durable et solidarité.
- D'intégrer dans les contrats les premières orientations des schémas de services collectifs (qui ne seront vraisemblablement pas terminés à la fin de l'année 1999).
- De mettre en œuvre une meilleure exécution des contrats de plan : les mandats insistent sur la concrétisation des projets futurs (la négociation doit porter sur des projets effectivement susceptibles d'être mis en œuvre) et la négociation de clauses de suivi et d'évaluation du contrat avec le conseil régional.



Le gouvernement a rééquilibré l'effort de l'Etat en faveur de certaines régions qui bénéficiaient de dotations par habitant relativement faibles auparavant (inférieur à 1100 francs). Il s'agit des régions Aquitaine, Centre, Île-de-France, Pays de la Loire, PACA, Rhône-Alpes. Pour les autres régions, les enveloppes 1994-1999 sont au minimum reconduites en francs constants pour 2000-2006. En francs constants et en dépense annuelle, dix régions auront une dotation de l'Etat en baisse.

| | XIème plan 1994-1999 | | XIIème plan 2000-2006 | Evolution XIIème / XIème plan* | Evolution XIIème plan à 80% / XIème plan* |
|------------------------------|----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| | Montants | En francs 2000 | | | |
| <i>en millions de francs</i> | | | | | |
| Alsace | 2 547 | 2 761 | 2 577 | -20,0% | 0,0% |
| Aquitaine | 3 168 | 3 433 | 3 734 | -6,8% | 16,5% |
| Auvergne | 2 455 | 2 661 | 2 455 | -20,9% | -1,1% |
| Bourgogne | 2 197 | 2 381 | 2 197 | -20,9% | -1,1% |
| Bretagne | 5 199 | 5 635 | 5 200 | -20,9% | -1,1% |
| Centre | 2 429 | 2 633 | 2 911 | -5,2% | 18,5% |
| Champagne-Ardenne | 1 910 | 2 070 | 1 941 | -19,6% | 0,5% |
| Franche Comté | 1 811 | 1 962 | 1 817 | -20,6% | -0,8% |
| Île-de-France | 11 326 | 12 276 | 13 133 | -8,3% | 14,6% |
| Languedoc-Roussillon | 3 860 | 4 184 | 3 910 | -19,9% | 0,1% |
| Limousin | 1 731 | 1 877 | 1 734 | -20,8% | -1,0% |
| Lorraine | 4 543 | 4 924 | 4 543 | -20,9% | -1,1% |
| Midi-Pyrénées | 4 519 | 4 898 | 4 727 | -17,3% | -3,4% |
| Nord-Pas-de-Calais | 8 374 | 9 077 | 8 375 | -20,9% | -1,1% |
| Basse-Normandie | 2 921 | 3 166 | 2 936 | -20,5% | -0,6% |
| Haute-Normandie | 2 306 | 2 499 | 2 557 | -12,3% | 9,6% |
| Pays de la Loire | 3 051 | 3 306 | 3 548 | -8,0% | 15,0% |
| Picardie | 2 524 | 2 735 | 2 524 | -20,9% | -1,1% |
| Poitou-Charentes | 2 639 | 2 861 | 2 643 | -20,8% | -1,0% |
| P.A.C.A | 4 360 | 4 725 | 5 336 | -3,2% | 21,0% |
| Rhône-Alpes | 5 450 | 5 907 | 6 321 | -8,3% | 14,7% |
| TOTAL | 79 319 | 85 971 | 85 119 | -15,1% | 6,1% |

* en francs constants 2000 et en dépense par an.



Bien qu'en hausse, les enveloppes consacrées à ces six régions demeurent en francs par habitant les plus faibles de la métropole.

■ RÉPARTITION PAR DOMAINE / MINISTÈRE

La répartition de l'enveloppe de l'Etat par ministère présente une diminution des crédits en francs courants uniquement pour le ministère de l'équipement : -14,25% (-15,2% en francs constants et en dépense annuelle par rapport au plan 1994-1999 réalisé à 80%). La contribution du ministère de l'environnement est doublée et concernera la gestion globale de l'eau, la prévention des risques et traitements des pollutions, la préservation et gestion des milieux naturels.

| | XIème plan 1994-1999 | | XIIème plan 2000-2006 | Evolution XIIème / XIème plan* | Evolution XIIème plan à 80% / XIème plan* |
|---|----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| | Montants | En francs 2000 | | | |
| <i>en millions de francs</i> | | | | | |
| Agriculture | 2 547 | 2 761 | 2 577 | -20,0% | 0,0% |
| Education Nationale | 3 168 | 3 433 | 3 734 | -6,8% | 16,5% |
| Environnement | 2 455 | 2 661 | 2 455 | -20,9% | -1,1% |
| Equipement | 2 197 | 2 381 | 2 197 | -20,9% | -1,1% |
| Route | 5 199 | 5 635 | 5 200 | -20,9% | -1,1% |
| Emploi - formation professionnelle | 2 429 | 2 633 | 2 911 | -5,2% | 18,5% |
| Ville | 1 910 | 2 070 | 1 941 | -19,6% | 0,5% |
| Fonds d'aménagement du territoire FNADT | 1 811 | 1 962 | 1 817 | -20,6% | -0,8% |
| Autres | 11 326 | 12 276 | 13 133 | -8,3% | 14,6% |

* en francs constants 2000 et en dépense par an.

■ PERSPECTIVES POUR LES TRAVAUX PUBLICS

La baisse des crédits du ministère de l'équipement résulte de la chute des crédits routiers passant de 27,3 MdF (hors TOM) pour 1994-1999 à 20,6 MdF pour la période 2000-2006, soit en francs constants et en dépense annuelle :

- -40% par rapport à l'enveloppe 1994-1999 initiale.
- -25% par rapport à l'enveloppe 1994-1999 réalisée à 80%.

Les autres modes de transport, fer et fluvial notamment, bénéficieront d'une dotation globale de près de 10 MdF dont 3,5 milliards pour le fer essentiellement affectés à des Travaux Publics.

Les contrats de plan seront complétés par des programmes spécifiques ou interrégionaux comme la route Centre-Europe-Atlantique (RCEA : 2 000 MF hors contrat de plan), la liaison ferroviaire Paris-Orléans-Limoges-Toulouse (POLT), la traversée souterraine de Toulon.

La progression des crédits liés à l'environnement est susceptible de concerner pour une part les Travaux Publics : projet de territoire Saône-Rhin dans la vallée du Doubs, restauration environnementale en Haute-Normandie (lutte contre l'érosion hydrique, ...), gestion de l'eau et des paysages (programme de protection contre les inondations en Camargue, traitement des sites industriels et miniers dégradés en Nord-Pas-de-Calais,...).

■ "SOULTE" DE 10 MdF

Le second volet de l'enveloppe de l'Etat destiné à prendre en compte les priorités que les régions auront fait valoir sera réparti à l'occasion d'un prochain CIADT, fin 1999. La répartition de cette deuxième enveloppe résultera de la négociation entre les préfets et les présidents des conseils régionaux. Une partie de cette soulte pourrait être affectée aux infrastructures, compte tenu que les régions ont recensé d'importants besoins dans ce domaine.

(source : FNTP)

Contrats de plan état - régions 1994 - 1999 : bilan d'exécution au 30 juin 1999

■ BILAN DE LA PART ETAT

Pour la part Etat, seul un suivi de la mise en place des autorisations de programme est possible. On distinguera trois types d'opérations : ❶ les financements des contrats de plan, ❷ les programmes complémentaires aux contrats et ❸ les programmes spécifiques à financement 100% Etat.

contrats de plan

Au 30 juin 1999, soit 6 mois avant la fin des contrats de plan actuels, 75,8% des financements sont mis en place par l'Etat. Près de 61% des autorisations de programme prévues pour 1999 ont été affectées durant le premier semestre de l'année.

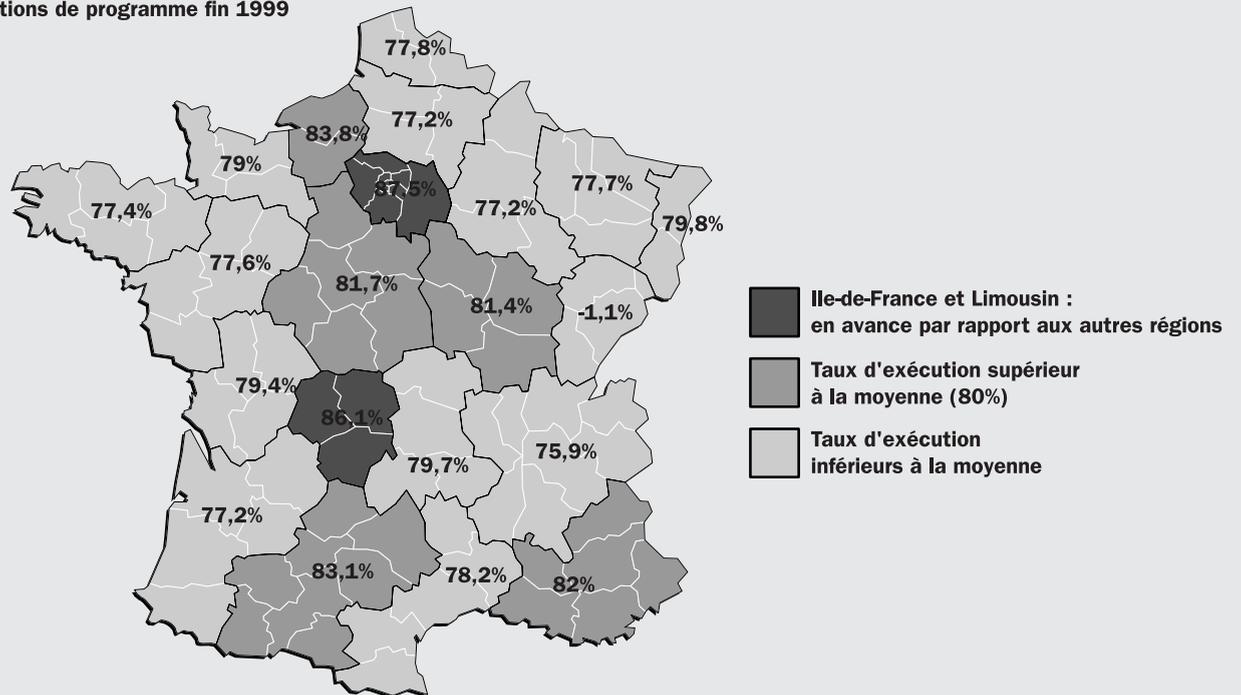
Néanmoins, l'exécution reste globalement insuffisante : fin 1999, 80% des financements seront mis en place par l'Etat allant de 76% pour Rhône-Alpes à plus de 87% pour l'Île-de-France.

Affectation pour l'Etat des Autorisations de Programme (hors programmes complémentaires)

| | Montant Part Etat volet routier XI ^{ème} Plan | Cumul des affectations fin 1998 (francs 94) | Taux d'avancement au 31 décembre 1998 | AP affectées fin juin 1999 | Taux d'avancement au 30 juin 1999 | Programmation pour 1999 | Taux d'avancement prévisionnel fin 1999 |
|------------------------------|--|--|---|-------------------------------|---|----------------------------|--|
| <i>en millions de francs</i> | | | | | | | |
| Alsace | 772 | 540 | 70,0% | 75 | 79,1% | 81 | 79,8% |
| Aquitaine | 877 | 593 | 67,6% | 43 | 72,2% | 90 | 77,2% |
| Auvergne | 750 | 528 | 70,4% | 67 | 78,8% | 74 | 79,7% |
| Bourgogne | 600 | 423 | 70,5% | 27 | 74,7% | 70 | 81,4% |
| Bretagne | 2 425 | 1 658 | 68,4% | 187 | 75,6% | 234 | 77,4% |
| Centre | 840 | 579 | 68,9% | 99 | 80,0% | 114 | 81,7% |
| Champagne-Ardenne | 805 | 542 | 67,4% | 65 | 74,9% | 84 | 77,2% |
| Franche-Comté | 685 | 480 | 70,0% | 50 | 76,9% | 69 | 79,5% |
| Île-de-France* | 2 070 | 1 559 | 75,3% | 18 | 76,1% | 269 | 87,5% |
| Languedoc-Roussillon | 1 014 | 702 | 69,2% | 62 | 75,0% | 97 | 78,2% |
| Limousin | 639 | 475 | 74,4% | 78 | 85,9% | 80 | 86,1% |
| Lorraine | 1 481 | 1 011 | 68,3% | 117 | 75,7% | 148 | 77,7% |
| Midi-Pyrénées | 1 715 | 1 198 | 69,8% | 158 | 78,5% | 242 | 83,1% |
| Nord-Pas-de-Calais | 1 489 | 1 006 | 67,6% | 48 | 70,6% | 163 | 77,8% |
| Basse-Normandie | 1 061 | 730 | 68,8% | 101 | 77,8% | 115 | 79,0% |
| Haute-Normandie | 521 | 362 | 69,6% | 67 | 81,6% | 79 | 83,8% |
| Pays de Loire | 979 | 665 | 67,9% | 18 | 69,7% | 101 | 77,6% |
| Picardie | 670 | 452 | 67,5% | 70 | 77,3% | 69 | 77,2% |
| Poitou-Charentes | 1 100 | 744 | 67,7% | 105 | 76,6% | 138 | 79,4% |
| P.A.C.A | 983 | 696 | 70,8% | 40 | 74,6% | 118 | 82,0% |
| Rhône-Alpes | 1 273 | 830 | 65,2% | 73 | 70,6% | 145 | 75,9% |
| TOTAL | 22 749 | 15 776 | 69,3% | 1568 | 75,8% | 2580 | 80,0% |

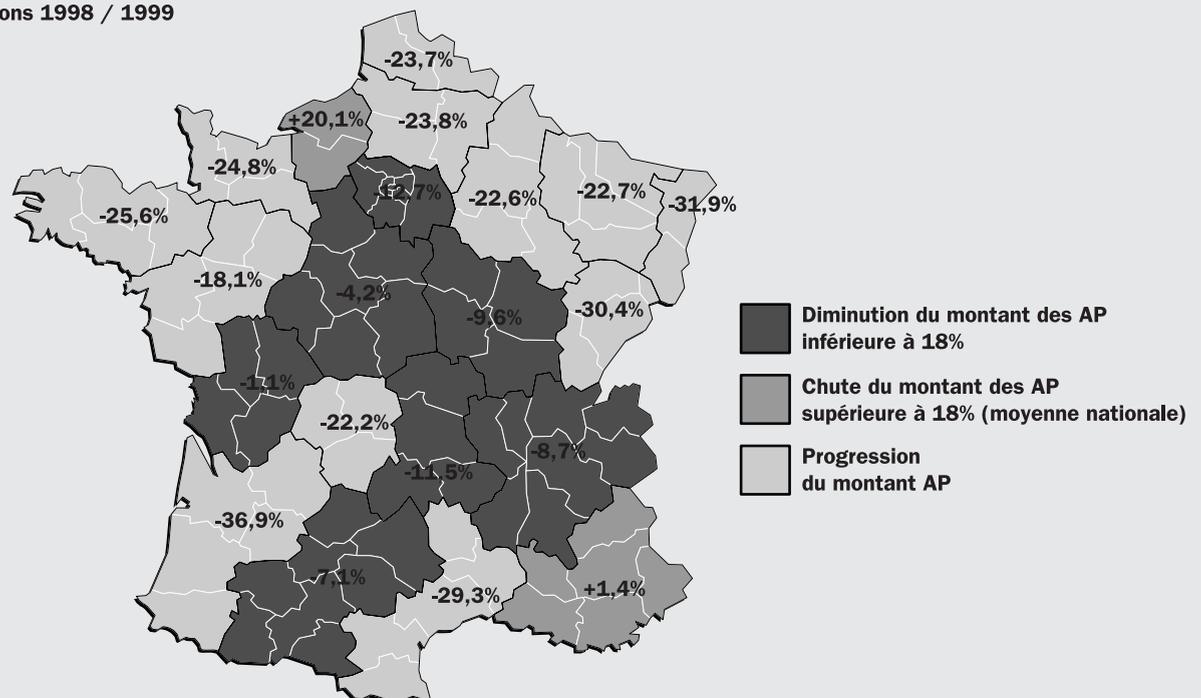
* Etat / Direction des routes + FARIF et Plan de Relance Ville

CONTRAT DE PLAN 1994 - 1999 PAR ETAT
taux d'exécution en autorisations de programme fin 1999



Le niveau des affectations d'autorisations de programme pour l'année 1999 est inférieur de 18% en moyenne à 1998 alors qu'un retard important est à rattraper.

AFFECTATION DES AUTORISATIONS DE PROGRAMME
Evolution des programmations 1998 / 1999



programmes complémentaires

Au 30 juin, le taux d'avancement moyen des opérations est de 77,8% et devrait atteindre 83,6% à la fin de l'année. L'effort de financement pour 1999 est inférieur de 22% à celui de 1998.

Programmes complémentaires contractualisés sur la période 1994 - 1999

en millions de francs

| | | Montants Contractualisés | Autorisations de programmes affectées 1994-1998 | Taux d'avancement au 31 décembre 1998 | Autorisations de programmes affectées fin juin 99 | Taux d'avancement au 30 juin 1999 | Programmation pour 1999 | Taux d'avancement prévisionnel fin 1999 |
|-------------------------|--|-----------------------------|--|--|---|---|----------------------------|--|
| <i>Opérations</i> | <i>Localisations</i> | | | | | | | |
| Somport | Aquitaine | 120 | 116 | 96,3% | 75 | 79,1% | 81 | 79,8% |
| Percées Alpines | PACA | 150 | 593 | 67,6% | 43 | 72,2% | 90 | 77,2% |
| RN 7 dans le Rhône | Rhône-Alpes | 90,5 | 528 | 70,4% | 67 | 78,8% | 74 | 79,7% |
| Réhabilitation A 47 | Rhône-Alpes | 182 | 423 | 70,5% | 27 | 74,7% | 70 | 81,4% |
| Matheysine | Rhône-Alpes | 27,5 | 1 658 | 68,4% | 187 | 75,6% | 234 | 77,4% |
| Contrat de Strasbourg | Alsace | 294,71 | 579 | 68,9% | 99 | 80,0% | 114 | 81,7% |
| RN 89, 120, 122, Lioran | Auvergne | 130,3 | 542 | 67,4% | 65 | 74,9% | 84 | 77,2% |
| RN 51 | Champagne- Ardenne | 80 | 480 | 70,0% | 50 | 76,9% | 69 | 79,5% |
| Transmanche | Nord-Pas-de-Calais Picardie, Haute-Normandie | 382,05 | 1 559 | 75,3% | 18 | 76,1% | 269 | 87,5% |
| Route des Estuaire | Basse-Normandie, Bretagne, Pays de Loire | 865 | 702 | 69,2% | 62 | 75,0% | 97 | 78,2% |
| RN 88 | Auvergne, Languedoc- Roussillon Midi-Pyrénées | 770 | 475 | 74,4% | 78 | 85,9% | 80 | 86,1% |
| RCEA | Auvergne, Limousin, Poitou-Charentes, Bourgogne | 595 | 1 011 | 68,3% | 117 | 75,7% | 148 | 77,7% |
| TOTAL | | 22 749 | 15 776 | 69,3% | 1568 | 75,8% | 2580 | 80,0% |

programmes spécifiques

L'Etat finance intégralement ces quatre itinéraires prioritaires dont les mises en service sont prévues pour 2003 sauf pour l'A 20 qui devrait être totalement terminée pour 2000. Les financements prévus pour l'A 75 et la RN 10 sont respectivement inférieur de 36% et 42% par rapport à 1998.

Etat d'avancement des Programmes Spécifiques à financement 100% Etat

| | Montant | Cumul des affectations fin 1998 | Taux d'avancement fin 1998 | AP affectées fin juin 1999 | Taux d'avancement au 30 juin 1999 | Programmation pour 1999 | Taux d'avancement prévisionnel fin 1999 |
|------------------------------|---------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------|--|
| <i>en millions de francs</i> | | | | | | | |
| RN 7 | 2 300 | 1174,1 | 51,0% | 132 | 64,9% | 339 | 70,2% |
| A 20 | 2 300 | 2564,4 | 111,5% | 75 | 115,6% | 100 | 118,6% |
| A 75 | 5 800 | 3141,0 | 54,2% | 344 | 61,0% | 422 | 66,5% |
| RN 10 | 1 350 | 250,0 | 18,5% | 26 | 28,6% | 145 | 30,4% |

(source : FNTP)