

Travaux

n° 779

PORT DE MONACO

- Les travaux d'extension du port de Monaco
- Les travaux du lot 1
- Les travaux du lot 2. Une digue préfabriquée en béton de 350 m de long

PONT

- Second franchissement du Rhin au sud de Strasbourg

AUTOROUTE

- L'autoroute A66 : Toulouse-Pamiers
- A66 - TOARC1. Section Montesquieu-Lauragais-Mazères

RÉSEAU

- La route des estuaires de l'information. Un réseau de 1 400 km de fibres optiques, entre Paris et Hendaye



Port de Monaco
et grands ouvrages







Travaux

numéro 779

octobre 2001
**Port de Monaco
 et grands ouvrages**



Notre couverture

Le port de Monaco

© Bouygues

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

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

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

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

VENTES ET ABONNEMENTS

Olivier Schaffer
 9, rue Magellan - 75008 Paris
 Tél. : (33) 01 40 73 80 05
 revuetravaux@wanadoo.fr

France : 950 FF TTC
 Etranger : 1 150 FF
 Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

MAQUETTE

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

PUBLICITÉ

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

Imprimerie Chirat
 Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris
 Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

actualités

matériels

PRÉFACE

Jean Chapon

PORT DE MONACO

◆ Les travaux d'extension du port de Monaco
 - *Port of Monaco extension works*

R. Bouchet, G. Battigello, J. Ward

◆ Les travaux d'extension du port de Monaco.
 Les travaux du lot 1

- *Port of Monaco extension works. Section 1 works*

J.-W. Ferrier

◆ Les travaux d'extension du port de Monaco.

Les travaux du lot 2. Une digue préfabriquée en béton de 350 m de long

- *Port of Monaco extension works. Section 2 works.*

A precast concrete jetty 350 m long

Fr. Martareche, L. Masset

PONT

◆ Second franchissement du Rhin au sud de Strasbourg.

Le tablier du viaduc d'accès côté France est achevé

- *Second crossing of the Rhine south of Strasbourg.*

Completed deck of access viaduct on French side

G. Treffot

AUTOROUTE

◆ L'autoroute A66 : Toulouse-Pamiers

- *The A66 motorway : Toulouse-Pamiers*

C. Reynes, J.-M. Castel, E. Marchisone, H. Pillier





Dans les prochains numéros

- réhabilitation -**
- réparation**
- d'ouvrages**
- international**
- ports**
- travaux urbains**
- travaux**
- souterrains**
- voies**
- et fondations**
- routes**
- entassements**
- environnement**



**ABONNEMENT
TRAVAUX**

Dans les prochains numéros
réhabilitation -
réparation
d'ouvrages
international
onts
travaux urbains
travaux
souterrains
ols
et fondations
outes
errassements
nvironnement



**ABONNEMENT
TRAVAUX**

Sommaire

octobre 2001
**Port de Monaco
et grands ouvrages**

Réhabilitation -

Réparation

d'ouvrages

International

Ponts

Travaux urbains

Travaux

souterrains

Sols

et fondations

Routes

Terrassements

Environnement



◆ A66 - Toulouse/Pamiers TOARC1. Section Montesquieu-Lauragais-Mazères
- A66 - Toulouse/Pamiers project Phase 1. Montesquieu-Lauragais-Mazères section
Fr. Bouvier, V. Guetaz

RÉSEAU

◆ La route des estuaires de l'information. Un réseau de 1 400 km de fibres optiques, entre Paris et Hendaye
- Information highway. A backbone of 1 400 km of optical fibre from Paris to Hendaye
P. Anjolras, Th. de Séverac, Cl. Brunier-Coulin, Ch. Duboin-Bidet, P.-Ph. Portejoie, R. Schuster

recherche

économie

**répertoire
des fournisseurs**

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

BOUYGUES.....4È DE COUVERTURE
EEG SIMECSOL.....2
FOSROC.....3È DE COUVERTURE
FRANCE GABION2È DE COUVERTURE
GETEC6
GPB.....4

HOBAS.....
IHC.....
ISPC PROFIL ARBED.....
MECAROUTE.....
SYNDICAT DES ÉRUPTIFS.....

Le présent numéro de la revue *Travaux* présente des ouvrages de nature fort différente. Ils sont cependant tous représentatifs de la notion la plus large de la performance, portant sur la conception, l'exécution et la conservation : cette recherche d'une "performance durable car globale" caractérise incontestablement la nouvelle génération des travaux publics, qui ne se contente plus de viser l'exploit technique dans le dimensionnement, mais résout vraiment tous les problèmes que posent la réalisation et l'exploitation des grands ouvrages, considérés, non seulement du point de vue de leur usage, mais également compte tenu de leur impact sur l'environnement humain et naturel.

L'extension du port de Monaco est performante à plus d'un titre.

D'abord au plan technique : si la partie Est, établie par des profondeurs inférieures à 40 m, est traitée de façon classique en caissons reposant sur le fond (dont les caractéristiques géotechniques ont cependant dues être améliorées), les grandes profondeurs (supérieures à 50 m) où doit être implantée la digue ouest, ont conduit à une conception qui constitue une "grande première" : l'énergie de la houle étant rapidement décroissante avec la profondeur, une digue flottante permet d'obtenir une atténuation suffisante de l'agitation en s'opposant à la pénétration de la houle sur une hauteur des quelques amplitudes au-dessous du niveau de la mer.

Cette conception pose le double problème :

- de limiter sévèrement les déplacements de l'ouvrage par un ancrage sur le fond au moyen de chaînes et une articulation sur le rivage par une rotule, condition incontournable à la fois pour contenir les efforts dans des valeurs acceptables et permettre une bonne exploitation pour l'accueil des navires et dans son rôle de parking à véhicules ;

- de donner à l'ouvrage une monostructure lui permettant de résister aux fortes sollicitations de tous ordres auxquelles il est soumis (notamment celles dues à la houle comme "digue verticale").

Les dispositions adoptées résultent d'une modélisation complexe qui a conduit à une structure en béton précontraint et fortement armée.

A cette innovation de la conception, s'ajoute la recherche d'une "performance sociale", en particulier concernant le chantier : la relative exigüité des lieux ne permet pas, en effet, de disposer d'espaces suffisants pour y préfabriquer d'importantes structures. D'où le recours à une préfabrication lointaine imposant un transport par voie maritime sur plus de 200 km pour les caissons de la partie Est et un parcours de 1.500 km pour la digue flottante.

Donc, autant de difficultés techniques – voire de risques liés à la fortune de mer – acceptées pour éviter d'imposer des contraintes locales qui auraient été effectivement sévères pour l'exploitation du port et pour l'environnement urbain si les structures avaient été construites sur place ou à une faible distance de Monaco.

Enfin, "performance durable", pour ce qui concerne la conservation de l'ouvrage et son impact sur l'environnement maritime et terrestre : les caractéristiques des matériaux, des structures et de leur fondation ou leur ancrage et les procédés de construction prennent en compte la redoutable

agressivité du milieu marin – au plan dynamique (en n'oubliant pas que la houle soumet les ouvrages à des actions de fatigue toujours plus éprouvantes que des efforts statiques de mêmes valeurs), au plan chimique (particulièrement sévère lorsqu'il s'agit de structures précontraintes et fortement armées), sans négliger les nuisances que les dragages peuvent entraîner pour la flore et la faune marines.

Pour être peut-être moins exceptionnels, les autres ouvrages présentés dans le présent numéro n'en sont pas moins révélateurs de la recherche d'une performance globale, donc durable. En témoigne le recours au système du poussage pour mettre en place la travée du pont du Rhin – procédé qui permet de limiter l'emprise du chantier et évite les problèmes posés par l'implantation de nombreux points d'appui.

Bel exemple de la nouvelle performance, c'est aussi le cas de la conception et la réalisation de l'autoroute A66 ; l'attention portée à son intégration dans un paysage harmonieusement modelé sera bénéfique autant pour les usagers – en contribuant à l'agrément de la conduite, donc à la sécurité – que pour les populations résidant aux abords de la nouvelle infrastructure. A noter également, la sage précaution d'avoir prévu, dès la construction de l'ouvrage, la mise en place de fourreaux destinés à recevoir un réseau de fibres optiques – ce qui évitera d'ouvrir plus tard un important chantier, toujours cause de gêne et parfois d'insécurité pour les usagers.

Le même souci d'être complètement et durablement performant apparaît enfin dans le choix d'une succession de remblais-déblais de grande hauteur, qui donne à l'infrastructure un caractère plus "naturel" que le recours à des ouvrages d'art ; il est, cette fois-ci, difficile d'accuser l'infrastructure de "bétonner" le paysage ! Ce choix n'est cependant pas sans poser de difficiles problèmes techniques en raison des caractéristiques géomorphologiques très variables tout au long de son tracé, mais une bonne connaissance de ces

dernières – qui impose évidemment des reconnaissances et mesures suffisamment nombreuses – permet d'apporter la réponse adaptée aux données propres à chaque mètre de la nouvelle voie.

Quant à la nouvelle "autoroute de l'information", elle n'est pas en reste au regard de la recherche de cette nouvelle performance du génie civil ; le procédé d'exécution retenu permet de concilier le souci d'une bonne exécution de l'ouvrage, la réalisation d'une productivité satisfaisante du chantier et la limitation de la gêne imposée par les travaux aux usagers et aux riverains. Toutes ces opérations devraient donc faire réfléchir ceux qui voient dans toute nouvelle infrastructure un gâchis de ressources et une atteinte irréversible causée au cadre de vie !

Elles montrent, en effet, que moyennant un effort d'imagination, l'utilisation des connaissances de tous ordres procurées par la Recherche et une sérieuse prise en compte des contraintes imposées à l'environnement humain et naturel par les ouvrages achevés et pendant leur construction, des solutions permettent de réaliser les infrastructures nécessaires au trafic, de façon saine au plan de l'économie et respectueuses du cadre de vie – c'est-à-dire concourant à l'aménagement durable, grâce à leur "performance également durable, car globale".



■ JEAN CHAPON

**Ingénieur général
honoraire des Ponts
et Chaussées**

Président de l'IREX

Les travaux d'extension

Pour faire face à son expansion, Monaco ne peut que s'étendre en mer, mais les profondeurs d'eau croissent rapidement dès que l'on s'éloigne du rivage. A la recherche de procédés respectueux de l'environnement marin, Monaco a mis au point des ouvrages maritimes d'un type nouveau dont une première application pratique est faite dans les travaux de protection et d'extension du port de la Condamine.

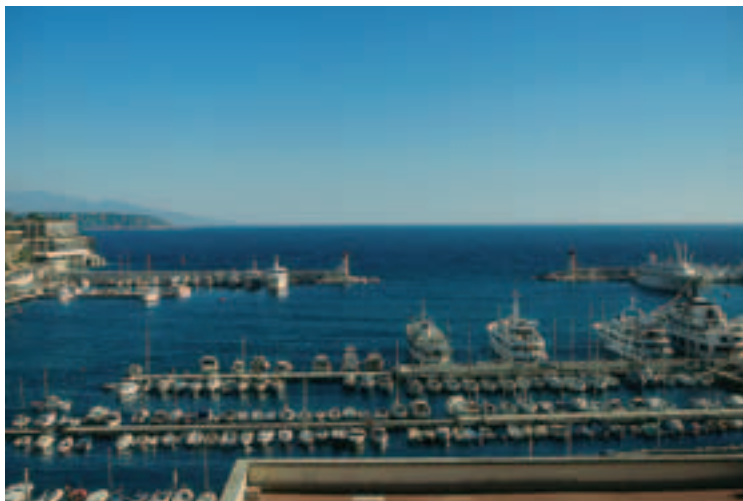


Photo 1
Port de La Condamine ouvert plein Est
Port of La Condamine opening eastward

Les caissons en béton armé et précontraint constituant l'ouvrage sont préfabriqués à l'extérieur de la Principauté, à la Ciotat, Marseille, Algésiras, puis remorqués à Monaco où ils sont mis en place.

A la volonté de réaliser ces travaux en respectant l'environnement marin et l'environnement urbain, s'est ajoutée une préoccupation majeure : celle de la durabilité du béton armé dans un milieu agressif comme la mer.

INTRODUCTION

Le principal problème de la Principauté de Monaco, plus petit pays du monde après l'Etat du Vatican, est le manque de place.

Indépendamment de tout ce qui peut être réalisé en souterrain – Monaco offre en ce domaine un certain nombre de réalisations exceptionnelles – la seule possibilité d'extension se situe en mer. Les difficultés proviennent de la pente rapide des fonds.

Alors que les autres pays, le Japon en particulier, confrontés à ce même problème, ont pu se développer en mer, sans pratiquement dépasser les 20 m de profondeur atteints par exemple à l'aéroport du Kansai, Monaco, il y a 30 ans déjà, s'étendait en remblayant jusqu'à des fonds de - 30 m à - 35 m, lors de l'endiguage de Fontvieille.

Comment aller plus loin encore, mais en respectant l'environnement marin, préoccupation majeure à Monaco, c'est-à-dire, sans déverser en mer remblais et produits divers ?

Pour répondre à cette question, les Services techniques de la Principauté ont entrepris, dans les années 1980 de longues études sur modèle mathématique et sur modèle hydraulique.

Elles ont débouché sur des ouvrages d'un type nouveau : le "mur d'eau oscillant" et le "mur d'eau fixe", brevetés par la Principauté, consistant à opposer à la mer des ouvrages superficiels mobilisant l'inertie de la masse d'eau située entre le fond de caissons de grande dimension et celui de la mer.

Une première application pratique de ces techniques est en cours avec les travaux de protection et d'extension du port de la Condamine.

LES CONTRAINTES

Quand les ouvrages de protection du port furent construits, il y a un siècle, les profondeurs d'eau rencontrées ne permirent pas de réaliser une jetée et une contre-jetée suivant le schéma classique assurant leur recouvrement et, par là même, une protection satisfaisante du plan d'eau. De ce fait, le port de la Condamine est ouvert plein Est, face à la direction des houles les plus fréquentes (photo 1).

Circonstance aggravante, sous des hauteurs d'eau qui atteignent et dépassent les 50 m à l'extrémité de la future digue, les sols marins sont tapissés par l'épaisse couche de vase déposée au fil des siècles par le torrent du vallon de Sainte Devote. Sous la vase se trouvent des alluvions plus anciennes dont les caractéristiques mécaniques, médiocres au départ, croissent lentement au fur et à mesure que les profondeurs augmentent.

Lors des sondages de reconnaissance poussés jusqu'à 70 m sous le fond de la mer, donc sous 120 m au moins sous le niveau du plan d'eau, ils n'ont pas rencontré, au droit de la partie terminale de la digue, le rocher qui borde pourtant les extrémités nord et sud du port.



Figure 1
Plan général du projet
General plan of the project

du port de Monaco

Le projet finalement adopté résulte des trois contraintes naturelles :

- ◆ les caractéristiques des houles¹;
 - ◆ les grandes profondeurs d'eau;
 - ◆ la nature médiocre des sols marins,
- et des trois contraintes que le maître d'ouvrage s'est imposé :
- ◆ le respect de l'environnement marin;
 - ◆ le respect de l'environnement urbain;
 - ◆ la maîtrise des coûts.

S'y est ajoutée une préoccupation majeure : celle de la durabilité d'ouvrages en béton armé et en béton précontraint dont la vocation est d'être battue par les vagues.

L'objectif affiché, au vu du comportement des plates-formes pétrolières en béton de la mer du Nord, a été une durée de vie de cent ans.

A cette fin, et en plus des classiques BAEL et BPEL, il est apparu nécessaire de faire appel aux règles norvégiennes NS 3473 pour conduire les justifications non traitées dans les textes réglementaires français, notamment pour tous les aspects qui concernent les vérifications aux états limites d'ouverture des fissures, les états de contraintes pluri-axiaux, la fatigue et les contraintes tangentes. Porteuses de l'expérience pétrolière, les règles norvégiennes, qui s'appliquent depuis plus de vingt ans à pratiquement toutes les plates-formes offshore, se sont ajoutées à :

- ◆ la compacité des bétons ($E/C < 0,35$);
- ◆ l'épaisseur d'enrobage (55 mm pour les aciers passifs, 100 mm pour les câbles de précontrainte);
- ◆ le traitement des joints de reprise des bétons;
- ◆ la protection cathodique des armatures;
- ◆ la chaleur d'hydratation des liants;
- ◆ d'autres précautions encore de nature à assurer une bonne pérennité de l'ouvrage comme l'utilisation de tubes au lieu de gaines pour les câbles de précontrainte.

■ DESCRIPTION DU PROJET (figure 1)

L'ensemble de ces considérations s'est traduite, au fil des études de faisabilité, d'APS et d'APD – réalisées par Doris Engineering choisi comme maître d'œuvre en raison de ses références en ouvrages offshore, et contrôlées par le Bureau Veritas –, par

un projet d'ensemble qui, pour l'essentiel, consiste à préfabriquer à l'extérieur, dans des sites spécialement équipés : La Ciotat, Marseille, Algésiras, les divers éléments du projet portuaire, puis à les remorquer et à les mettre en place à Monaco où les travaux se limitent à la préparation de leur assise.

Parmi les différences pièces de ce puzzle géant décrites plus loin par les responsables des deux groupements titulaires des marchés de travaux, mention doit être faite, pour illustrer l'importance de l'opération et son aspect novateur, de la digue semi-flottante construite à sec, au pied du rocher de Gibraltar. Elle se présente comme un immense navire en béton précontraint, à double coque, de 350 m de longueur, 16 m de tirant d'eau, dont le déplacement : 163 000 t est égal à quatre fois celui du porte-avions Charles de Gaulle, et dont les armatures, toutes protégées cathodiquement, ont un poids une fois et demi supérieur à celui de la Tour Eiffel.

Côté terre, la digue semi-flottante est amarrée, par une rotule, à un caisson culée de 80 x 40 x 30 m posé à - 30 m sur un remblai spécialement traité. Trois autres caissons fondés l'un à - 20 m et deux à - 10 m délimitent avec le caisson culée un terre-plein d'un hectare environ situé en contrebas du Fort Antoine (figure 2).

Une contre-jetée constituée d'un caisson, en béton précontraint également, de 145 m de longueur, 30 m de largeur, 9 m de tirant d'eau, reposant sur

René Bouchet



INGÉNIEUR GÉNÉRAL
DES PONTS
ET CHAUSSEES
CONSEILLER TECHNIQUE
AUPRÈS
DU DÉPARTEMENT
DES TRAVAUX PUBLICS

Gilbert Battigello



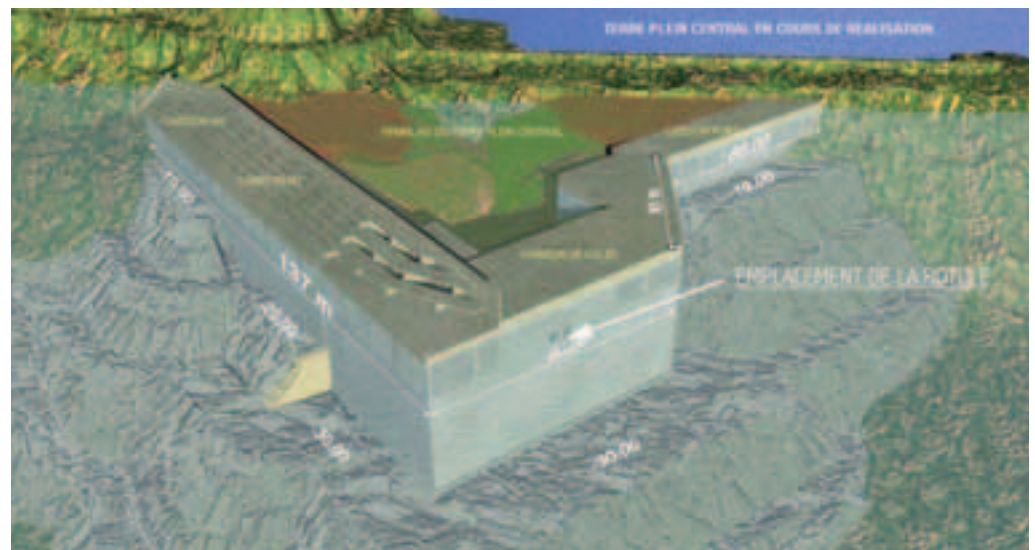
DIRECTEUR DU SERVICE
DES TRAVAUX PUBLICS
Principauté de Monaco

Jacob Ward



INGÉNIEUR
REPRÉSENTANT
DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Figure 2
Caissons délimitant le terre-plein
Caissons delimiting the esplanade



1. Pour le secteur Est – Sud/Est Hs = 4,0 m Tpic = 9,6 sec;
pour le secteur Sud – Sud/Ouest Hs = 4,9 m Tpic = 12,0 sec

Figure 3
Contre-jetée
Counter-jetty

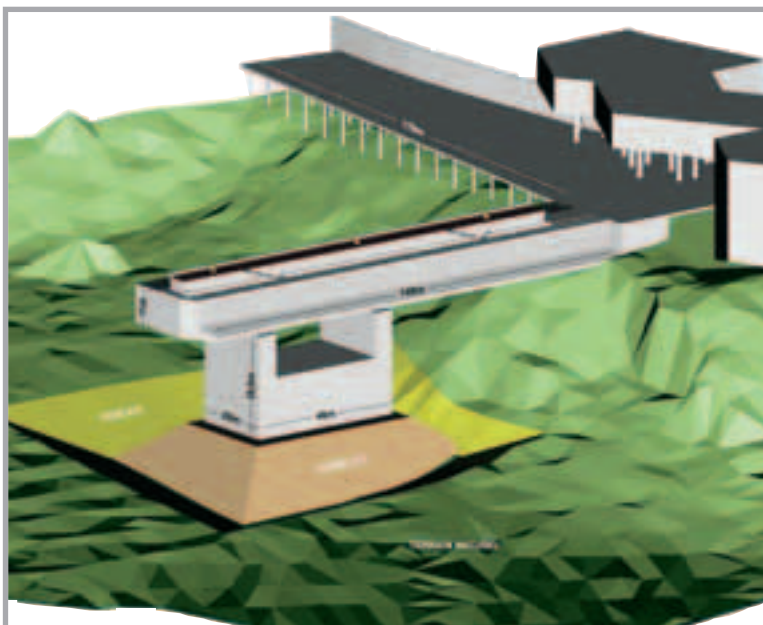


Figure 4
Emprise
des deux lots
*The two project
areas*



des appuis fixes complète la protection du plan d'eau (figure 3).

Comme la digue semi-flottante, il constitue une application du "mur d'eau fixe".

■ ATTRIBUTION DES TRAVAUX

Les travaux de génie civil furent divisés en deux lots :

- ◆ lot n° 1 comprenant le terre-plein à constituer au pied du Fort Antoine avec les caissons qui le délimitent, plus en tranche optionnelle, la contre-jetée et le prolongement du quai Louis II;

- ◆ lot n° 2 comprenant la digue semi-flottante (figure 4).

Après un appel d'offres européen, le lot 1 fut attribué à un groupement piloté par Bouygues Offshore et comprenant, en plus de cette entreprise Bouygues, GTM, Dumez, Impregilo, Serimer. Les sites de préfabrifications se situent à la Ciotat et Marseille.

Montant du marché : tranche ferme 394 millions de francs HT; tranche optionnelle 200 millions HT. Le lot n° 2 fut attribué à un groupement piloté par BEC et comprenant, en plus de cette entreprise, Dragados, Fomento, Triverio, SMMT.

Le site de préfabrication se situe à Algésiras. Montant du marché 372 millions HT.

A ce jour, le lot 1 a terminé la mise en place des caissons délimitant côté mer le nouveau terre-plein au pied du Fort Antoine, et installé la culée de la contre-jetée. Celle-ci, en cours de construction à la Ciotat devrait être remorquée à Monaco au début de l'été 2002, peu avant l'arrivée d'Algésiras de la digue semi-flottante, prévue pour juillet/août 2002.

■ PROJETS FUTURS

Avec la réalisation de ces travaux qui constituent une première application des techniques et des méthodes de l'offshore pétrolier à de nouveaux concepts d'ouvrages maritimes respectueux de l'environnement, une voie nouvelle s'ouvre pour de nouveaux projets de développement en mer.

Une phase 2 destinée à poursuivre la reconquête et l'aménagement du littoral jusqu'aux plages du Larvotto est en cours d'étude.

A plus long terme, il paraît envisageable de préfabriquer en cale sèche des quartiers entiers de ville, puis de les remorquer et de les assembler sur un site convenu conformément à un plan d'urbanisme préétabli.

Le projet de Fontvieille II (photo 2) se situant dans des fonds allant de - 40 m à - 80 m illustre une telle perspective.

■ REMARQUES GÉNÉRALES

Au-delà du caractère particulier de ce projet, nous souhaiterions attirer l'attention sur quelques considérations de portée plus générale :

- ◆ en matière de travaux en mer, les réalisations les plus étonnantes ont été menées à bien par les très discrets pétroliers. Il serait souhaitable que les ingénieurs chargés des travaux maritimes profitent de l'expérience qu'ils ont accumulée;

- ◆ la France, patrie d'excellence du béton, mais plus terrienne que maritime, ne semble pas avoir porté, en dehors de cercles restreints de spécialistes, une attention suffisante à la durabilité du béton



Photo 2
Fontvieille II
Fontvieille II

armé en atmosphère agressive. Peut-on espérer qu'elle édite demain des recommandations pratiques susceptibles d'éclipser certaines recommandations scandinaves ? ;

◆ la réalisation de travaux à la mer ajoute aux aléas terrestres les aléas maritimes. Indépendamment de tout ce qui peut et doit être fait pour les réduire : bonne estimation du climat maritime, reconnaissance poussée des sols marins, il est capital que la conception des ouvrages et les méthodes d'exécution qui en découlent incorporent la forte préoccupation de les réduire.

ABSTRACT

Port of Monaco extension works

R. Bouchet, G. Battigello, J. Ward

To meet its present growth requirements, Monaco has to extend seaward and is faced with the problem of increasing water depth as it extends. In its search for techniques complying with the marine environment, Monaco has developed maritime structures of a new type, applied for the first time in the La Condamine port protection and extension project.

The reinforced and prestressed concrete elements forming the structure are precast outside the Principality, at Ciotat Marseille Algésiras, and then towed to Monaco for erection.

In addition to the desire to complete these works in compliance with the marine and urban environment, there was another major requirement : durability of reinforced concrete in such an aggressive environment as the sea.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras de ampliación del puerto de Mónaco

R. Bouchet, G. Battigello y J. Ward

Para hacer frente a su expansión, Mónaco únicamente se puede prolongar hacia el mar, pero las profundidades de agua aumentan muy rápidamente a partir del momento en que se aleja de las orillas. Al desear aplicar procedimientos respetuosos del entorno marino, Mónaco ha desarrollado estructuras marítimas de nuevo tipo, una de cuyas primeras aplicaciones prácticas se ha realizado en las obras de protección y ampliación del puerto de La Condamine.

Los cajones de hormigón armado y pretensado componentes de la estructura se prefabrican en el exterior del Principado, en La Ciotat Marsella Algésiras, y a continuación, transportados por remolque hasta Mónaco en donde se instalan definitivamente.

A la voluntad de ejecutar estas obras respetando siempre el entorno marino y el entorno urbano, se ha venido a añadir una preocupación de primera importancia : obtener la durabilidad del hormigón armado en un medio agresivo como la mar.

Rappelons tout d'abord les trois grands thèmes qui ont sous-tendu toutes les réflexions lors de la conception du projet :

◆ de grandes profondeurs d'eau et un sol naturel complexe, présentant d'importantes hétérogénéités et notamment au pied des falaises des changements de nature brutaux ;

◆ le respect de l'environnement au sens le plus large du terme :

- environnement marin (faune et flore), propreté des eaux,

- préservation d'une qualité de vie pour les habitants de la Principauté en minimisant à chaque étape les impacts sur les existants, les nuisances visuelles, sonores et de circulation ;

◆ le souci de réaliser un ouvrage pérenne avec une durabilité affichée de 100 ans.

La préparation, l'organisation des travaux, le choix des solutions techniques et des procédés d'exécution ont eux-mêmes directement découlé de ces trois fondamentaux.



Photo 1
Drague "Nile River"
"Nile River" dredge



Photo 2
Plate-forme auto-élevatrice équipée pour les injections solides
Platform with auto-elevator designed for solid injection



Photo 3
Injections solides - Perforatrices
Solid injection - Drilling rigs

■ PROFONDEUR D'EAU ET TERRAIN COMPLEXE

Le travail a grande profondeur et la nature des terrains de substratum ont conduit à une grande variété de systèmes de traitement.

Le port de la Condamine se situe à l'embouchure du torrent de S^{te} Dévote qui a, au fil du temps et des orages, déposé une quantité importante de sé-

Les travaux de Monaco

Les travaux

diments récents de faibles caractéristiques. La première opération a donc consisté à enlever une couche, variant de 1 à 6 m, de matériaux limoneux par des profondeurs allant jusqu'à 55 m.

Cette opération a été réalisée avec l'une des plus grosses dragues suceuses actuelles, "Nile River" équipée d'une élinde de 60 m de long, 1,5 m de diamètre et une tête d'aspiration de 6 m de large équipée de jet d'eau ou d'air sous pression pour déstructurer, si besoin, le matériau à draguer (photo 1). 75 000 m³ sous l'emprise du terre-plein et 60 000 m³ sous l'appui de contre-jetée ont ainsi été enlevés.

Les spécificités du déroulement de cette opération propre aux contraintes environnementales sont décrites dans le chapitre suivant.

Le substratum rocheux apparaît des deux côtés de la sortie du port mais plonge rapidement jusqu'à des profondeurs estimées à environ - 200 m NGM. L'assise des ouvrages est donc recherchée dans la couche intermédiaire :

◆ une série de marnes et calcaires, datant vraisemblablement de la fin du crétacé inférieur (céno-manien). Cette série, rencontrée en continuité du rocher de Monaco, présente un pendage important vers le large. Au voisinage du caisson de culée, son toit se situe vers 57 m de profondeur ;

◆ une série assez hétérogène de marnes peu consolidées contenant de nombreux lits de graviers (et peut être quelques niveaux de calcaires et conglomérats). Ces matériaux peuvent être déposés en transgression lors de l'éocène sur les marno-calcaires céno-manien (lacune de tout le crétacé supérieur). Cette série se situe vers - 50 m de pénétration dans la zone du caisson de digue semi-flottant ;

◆ la série des dépôts limoneux post-orogéniques, déposés en discontinuité sur la série éocène et datant de la fin du tertiaire ou du début du quaternaire. Ils présentent une cimentation interparticulaire, pouvant conduire jusqu'à des grès friables. Cette cimentation carbonatée est probablement due à une dessiccation et à l'action des eaux météoriques lors d'une immersion en période de bas niveau marin (würmien par exemple). Elle est présente sur la quasi-totalité du site. Sa puissance croît de 15 m au droit du futur terre-plein jusqu'à plus de 28 m pénétration dans la zone du caisson de digue semi-flottant.

Les deux dernières couches sont traitées dans l'emprise du terre-plein par des injections solides.

Ce procédé consiste à repousser horizontalement le terrain en injectant du mortier de consistance

d'extension du port

du lot 1

ferme (*slump* entre 8 et 11) dans des forages à maillage serré (ici triangulaire de 4 m); ceci améliore ses caractéristiques :

- ◆ par l'effet de compactage horizontal;
- ◆ par l'inclusion d'une colonne de matériaux de module élevé, le mortier (photo 2).

Ce procédé s'adapte bien au type de terrain rencontré :

- ◆ par la capacité à traverser des couches indurées locales, le forage se faisant par rotoperçusion;
- ◆ par son auto-régulation (l'expansion du mortier se fait là où le terrain est faible) (photo 3).

Le remblai support des caissons de terre-plein étant réalisé avec un calcaire dur de granulométrie 20/180 (sans fines pour des problèmes d'environnement cf. chapitre suivant), l'entreprise a préféré deux autres méthodes de traitement :

- ◆ la vibrocompaction pour les remblais de - 30 m à - 50 m;
- ◆ les inclusions métalliques de pieux PH battus sous les caissons secondaires entre - 30 mètres et - 10 mètres.

La mise au point de la vibrocompaction, non encore expérimentée dans ce type de matériaux, a nécessité une approche théorique avec des essais de laboratoire.

Puis une validation sur une planche d'essai, grandeur nature, dans une fosse de 10 m de profondeur, 10 m de large et 20 m de long, des matériaux ont été déversés dans l'eau sans compactage, puis vibrocompactés. Les caractéristiques mécaniques ainsi obtenues ont été mesurées au pénétromètre statique Amapsol et les tassements obtenus analysés pour servir de critère lors de l'exécution *in situ*. Le tassement observé grâce à la vibrocompaction est de 6 à 8 % de l'épaisseur de la couche (photo 4).

Dans les zones très proches de la falaise des zones d'ébouillis ont également été consolidées par battage de pieux PH.

Du côté de la contre-jetée, comme il n'apparaissait pas, dans la zone de la pile, de couche indurée rendant le battage de pieux métalliques trop aléatoires, la solution retenue a été le frettage du terrain par pieux métalliques de 28 m de longueur (\varnothing 550 mm épaisseur 17 mm) sur une maille de 4 m.

La mise en place de ceux-ci, de longueur 28 m, étant faite par vibrofonçage dans le remblai et les premières couches de terrain naturel, puis par battage (photo 5).

Pour la culée, le substratum calcaire ayant été repéré à 15 m moyen sous le niveau de semelle de la culée avec une couche superficielle de grave, un



Photo 4
Vibreux de 150 mm suspendu à son aiguille. Ce vibreur a pu descendre à 20 m à l'intérieur des remblais spécialement sélectionnés

150-mm vibrator suspended from its needle. This vibrator descends 20 m into specially selected embankments



Photo 5
Préparation du battage d'un pieu. En rouge, marteau de battage

Preparation for pile driving. In red, pile driving hammer

appui dur est reconstitué par traitement au jet grouting de la couche de grave. Des micropieux scellés dans le calcaire, le terrain traité et la semelle assurent la reprise des efforts horizontaux.

Au final, pas moins de cinq techniques différentes de consolidation ont été utilisées en fonction de la nature et de la plus ou moins grande hétérogénéité des terrains afin de maîtriser parfaitement leur tassement, et ceci avec chaque fois les contraintes particulières de grandes profondeurs.

► ■ LE SOUCI DE L'ENVIRONNEMENT

Le choix des techniques de réalisation à chaque étape a été guidé par le souci de respecter l'environnement.

Photo 6
Clapage des remblais
en pied de la digue sud

*Stone piling
on embankments
at foot of south jetty*



Photo 7
Première mise en eau
de la forme
de La Ciotat

*Initial watering
of La Ciotat dock*



Photo 8
Caisson M2
sortant de la forme
de La Ciotat

*Caisson M2 leaving
the La Ciotat dock*



Dragages

Le processus habituel de fonctionnement des dragues suceuses est d'aspirer avec l'élinde de fond un mélange eau limon (15 % matière, 85 % eau) dans sa cuve où se produit une décantation et de laisser s'échapper l'eau par surverse.

Dans ce cas particulier, la turbidité et le dépôt de particules sur les fonds marins du site engendrés par cette technique n'étaient pas tolérables.

La solution retenue a donc été de remplir les cuves de la drague sans surverse et d'effectuer la vidange à 3 km au large, en refoulant les déblais par l'élinde de fond, soit à 60 m de profondeur. Le point de vidange a été soigneusement déterminé avec la direction de l'environnement de Monaco sur la base de leurs études des fonds et de la courantologie locale, afin d'en maîtriser l'impact.

Remblai

Le matériau de remblai (environ 1 000 000 t) est amené en très grande majorité par voie maritime depuis le port de la Seyne-sur-Mer de façon à réduire au maximum le transit routier dans Monaco (photo 6).

Afin de limiter l'impact des clapages de matériaux sur la turbidité des eaux, ce matériau de remblai est traité en carrière par :

- ◆ criblage de la fraction 0/20 ;
- ◆ soufflage en sortie de crible pour éliminer les fines adhérentes aux granulats.

Enfin, pendant tout le transport en barge (≈ 12 heures) le matériau est rincé par arrosage et pompage en fond de cale des eaux chargées.

Nota : afin de mesurer l'impact des travaux une mesure permanente de turbidité a été installée sur le circuit de pompage d'eau de mer du musée océanographique de Monaco situé à environ 300 m du chantier.

Les dispositions décrites ont permis que l'impact du chantier, en matière de turbidité des eaux, soit dans toutes ses phases à peine perceptible, en tous cas largement inférieur au pic relevé lors de tempêtes ou de gros orages sur le bassin versant du torrent de S^{te} Dévote.

Une vedette équipée du matériel de mesure de turbidité est en poste sur le chantier et a permis de suivre le phénomène en tout point du site.

Traitement de sol

Le principal souci a été la réduction des nuisances sonores apportées par ce type de travaux. Tous les matériels (grue - foreuse - pompe d'injection) ont été équipés de capot d'insonorisation.

Pour le battage des inserts métalliques il a été systématiquement utilisé un vibrofonceur et un marteau hydraulique marinisé, capables de travailler

jusqu'à - 40 m, pour que tous les battages soient faits matériel totalement immergé, donc sans impact sonore.

Génie civil

Dès la conception l'idée majeure a été de préfabriquer des éléments d'ouvrage hors de la Principauté et de les amener par flottaison pour être immergés sur le site (photo 7).

Cette préfabrication a été poursuivie aussi loin que possible compte tenu des impératifs de tirant d'eau et de stabilité au remorquage. Les caissons ont été amenés dalle supérieure totalement terminée ainsi que quelques amorces de superstructure. Ainsi sur les 60000 m³ de béton, seulement 10000 m³ sont réalisés sur le site de Monaco (photo 8).

La dimension et le poids des pièces (le caisson de culée de terre-plein de 80 m de long, 40 m de large, 32 m de haut pèse 36000 t) nécessitent une préfabrication en plusieurs étapes avec changement de site bien illustré par le cas de la culée de terre-plein :

- ◆ radier + une levée de voile de 10 m dans la forme de radoub de la Ciotat (tirant d'eau 7,90 m);
- ◆ deuxième levée de voile de 10 m dans le bassin à flot de la Ciotat (tirant d'eau 10 m) (photo 9);
- ◆ troisième levée de voile de 10 m le long du quai Wilson au port autonome de Marseille (tirant d'eau 12 m) (photo 10);
- ◆ dalle supérieure sur le même site, mais avec éloignement du quai de 21 m grâce à l'interposition d'une barge entre le quai et l'ouvrage pour bénéficier d'un tirant d'eau de 17 m.

Le remorquage sur Monaco a alors nécessité trois remorqueurs (2 x 5000 CV +1 x 3000 CV soit 130 t de *bollard pull*) pour amener cette pièce sur Monaco avec des vitesses sur le fond parfois réduite à 0,8 nœud dans la zone du courant Ligure (photo 11).

Les systèmes de positionnement par satellite et l'expérience des équipes ont permis de poser ce caisson avec un écart en plan maximal de 17 cm et un écart d'orientation de 0,13°, respectant ainsi très largement les tolérances admises.

DURABILITÉ

Construire un ouvrage avec le souci d'une durabilité de 100 ans c'est une démarche qui exige à chaque choix de matériau et à la définition de chaque principe d'exécution (même du détail), de se questionner sur l'expérience que l'on possède sur le comportement à long terme, et comment il est possible de l'appréhender.

Ces réflexions ont porté sur trois points principaux. Le premier concerne le dimensionnement de l'ouvrage.

Pour les études de structure, il a été fait appel aux

règles de calcul norvégiennes élaborées dans le cadre des plates-formes pétrolières en béton soumises à l'agression du milieu marin. Celles-ci limitent les ouvertures de fissures théoriques avec des critères < 0,2 mm dans les zones les plus exposées, ce qui conduit dans certaines configurations d'effort à des taux de travail des aciers passifs extrêmement réduits (≈ 100 MPa).

Le second porte sur la formulation du béton utilisé.



Photo 9
Caissons M1, M2
et culée dans le bassin
à flot de La Ciotat
*Caissons M1, M2
and abutment
in La Ciotat wet dock*



Photo 10
Fin des travaux
de la culée au quai
Wilson du port
de Marseille
*End of works
on abutment
of Wilson wharf
at Port of Marseilles*



Photo 11
Départ de la culée
du port de Marseille
*Departure of abutment
from Port of Marseilles*



Photo 12
Coffrage et ferrailage d'une levée de 10 m du caisson M2
Shuttering and reinforcement of 10 m levee for caisson M2

Pour ce chantier, l'attention a tout particulièrement été portée à obtenir, bien sûr des caractéristiques mécaniques conformes (54 MPa), mais de façon plus prioritaire :

- ◆ une compacité maximale ;
- ◆ une perméabilité à l'eau quasi nulle ;
- ◆ une résistance à la pénétration aux ions chlore positionnant les résultats dans la catégorie excellent pour les essais normalisés (< 1 000 Coulombs) ;
- ◆ une faible exothermie pour minimiser les problèmes de fissuration.

Le troisième intéresse les méthodes et les dispositions constructives :

- ◆ enrobage 55 mm ;
- ◆ exécution de plot test de reprise de bétonnage pour valider la procédure ;
- ◆ minimiser le nombre de reprises par exécution de plots de 10 m de haut (photo 12) ;
- ◆ test d'imperméabilité et de pénétration des ions chlore sur les rebouches des tiges traversantes des coffrage ;
- ◆ traitement systématique de toutes fissures :
 - par injection si supérieur à 0,2 mm (cela a été exceptionnel),
 - par pontage si inférieur à 0,2 mm.

Les décisions prises concernant ces trois points ont été élaborées à partir d'études, réflexions, expérimentations auxquelles ont collaboré les spécialistes des entreprises, du maître d'œuvre, et du bureau de contrôle.

Leur mise en œuvre est encadrée par les dispositions d'un plan d'assurance qualité strictement respecté.

Voilà comment à partir de trois contraintes fondamentales les grandes lignes du chantier et de son organisation se sont dessinées.

Commencé en juin 1999, le chantier mobilise en pointe environ 100 personnes en études, méthodes et encadrement et 300 personnes de production avec les opérations sous-traitées.

ABSTRACT

Port of Monaco extension works. Section 1 works

J.-W. Ferrier

The extension of the Hercule port in Monaco involves works meeting three requirements :

- allowance for an ocean depth of as much as 55 m and complex geology calling for the use of techniques to improve the supporting soil and the constructed embankments ;
- compliance with the environment in the different project phases requiring a new approach in the selection of construction techniques (dredging, soil treatment, civil engineering, etc.) whilst incorporating specific site factors ;
- construction focusing on durability with correspond design requirements and choice of materials.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras de ampliación del puerto de Mónaco. Los trabajos del lote 1

J.-W. Ferrier

El proyecto de ampliación del puerto Hercule, en Mónaco, está subtendido por tres temas :

- un mar de gran profundidad, que alcanza incluso 55 metros y una geología compleja que dan lugar al empleo de numerosas técnicas de mejora de los suelos de cimentación y de terraplenes implantados ;
- el afán del respeto del medio ambiente en las diversas etapas del proyecto, que conducen a repensar las opciones de técnicas de construcción (dragado, tratamiento del suelo, obras de ingeniería civil, etc.) incorporando los caracteres específicos en presencia ;
- la construcción de la estructura con el afán de obtener su durabilidad que influyen los criterios de cálculo dimensional, las reglas de cálculo o la selección de los materiales más adecuados.

Les travaux d'extension du port de Monaco

Les travaux du lot 2

Une digue préfabriquée en béton de 350 m de long

Il se construit actuellement dans une cale sèche aménagée spécialement dans le sud de l'Espagne un ouvrage original, complexe et innovant : une digue flottante en béton de 350 m de long et 160 000 t, aménagée intérieurement pour recevoir des parkings de voitures sur quatre niveaux et des garages à bateaux.

Élément essentiel de l'extension du port de la Condamine à Monaco, l'ouvrage sera remorqué une fois sa "préfabrication" terminée, d'Algésiras à Monaco pour venir s'amarrer à son site définitif par l'intermédiaire d'une rotule métallique de 800 t. Des chaînes reliées à des pieux métalliques limiteront ses mouvements.

Réalisé en béton armé très précontraint, l'ouvrage est conçu et réalisé pour une durée de vie de 100 ans.

Ce chantier hors du commun, très européen et multidisciplinaire, devrait s'achever par une opération spectaculaire de connexion de la rotule à la fin de l'été 2002.

■ UN OUVRAGE COMPLEXE : UN BÂTIMENT FLOTTANT DE 160 000 TONNES EN BÉTON

Description sommaire

Ouvrage flottant en béton précontraint, parallélépipédique à double coque, la digue est aménagée pour recevoir à l'intérieur 400 places de parking voitures et des garages à bateaux, et à l'extérieur toutes les facilités permettant l'accueil de gros bateaux de croisière.

Des superstructures viendront donc équiper la structure béton, notamment une gare maritime et un phare à son extrémité.

L'ouvrage sera fixé à la terre ferme par une rotule métallique positionnée à la cote - 8, ancrée dans la digue, qui lors de l'opération de "rotulage", sera introduite dans une bague extérieure logée dans la culée du terre-plein.

Son extrémité libre (côté phare) sera retenue par des chaînes attachées à des pieux (figure 1).

Etudes d'exécution

Le marché de travaux inclut les études d'exécution. Ces études ont été confiées pour la structure béton à Setec TPI.

Nota : l'article qui suit, très succinct, ne présente que quelques aspects particuliers de ce chantier. De plus amples informations peuvent être obtenues à l'adresse suivante : f.martareche@becfreres.com

Frédéric Martareche

DIRECTEUR DE PROJET
BEC Frères



Loïc Masset

INGÉNIEUR MÉTHODES
BEC Frères

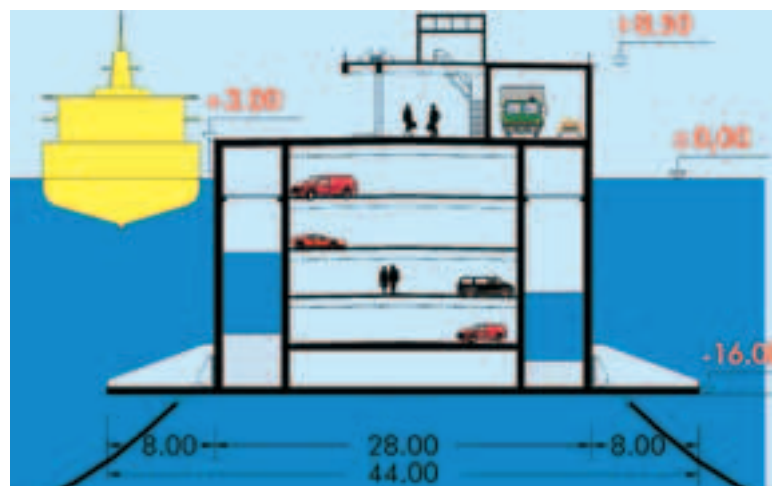


Figure 1

Coupe transversale type (zone parking). Notez les raidisseurs et les chaînes d'ancrage, les ballasts solide et liquide dans les cellules de la double coque

Typical cross section (parking area). Note the stiffeners and the anchoring chains, as well as the solid and liquid ballasts in the cells of the double skin



Vue du chantier depuis l'extrémité côté phare. A droite, le rocher de Gibraltar

View of worksite from end on lighthouse side. On right, the Rock of Gibraltar

de la digue au droit de la rotule, induit des efforts localisés très importants.

Une souille unique en Europe

Choix du site

La cale sèche existante à Algésiras, prévue initialement, n'autorisait qu'une réalisation partielle de la structure compte tenu du tirant d'eau. Il était donc prévu une deuxième phase de construction en flottaison à quai, dans le port d'Algésiras.

Une deuxième cale sèche, creusée dans les années 1970 dans le cadre d'un projet abandonné par la suite, offrait à proximité une zone libre, protégée par une enceinte étanche existante. Moyennant le colmatage d'une brèche dans l'enceinte périmétrique et un surcreusement de la souille, il devait être possible de dégager le tirant d'eau nécessaire pour construire la digue en une seule phase.

Après des calculs préliminaires du tirant d'eau maximum admissible, le niveau de fond de fouille a été arrêté à - 14,5 m environ (dessous radier à -14,30 m). Le projet a donc commencé par des travaux de terrassements importants : 400 000 m³ de déblai dont 200 000 m³ à l'explosif.

Les dimensions générales de la souille sont 380 m x 75 m. La souille ainsi réalisée permet de construire la digue complète, de disposer de deux voies de grues longitudinales de part et d'autre de l'ouvrage et de deux rampes d'accès. Un système de drainage et de pompage permet de maintenir la souille à sec, avec un débit moyen de fuite de 60 m³/h. Les talus ont été sécurisés par l'application d'un béton projeté.

Traitement du fond de forme

La digue repose sur des longrines transversales en béton espacées de 8 m, comme un bateau sur bers. Cet espacement correspond à la trame des voiles verticaux de la structure.

Cette solution originale permet de répondre à deux contraintes principales :

- ◆ l'ingénierie de structure nécessite un coefficient de frottement maximum de 0,3 entre la sous-face du radier de la digue et le fond de forme, pour autoriser les glissements de la structure ;
- ◆ l'ingénierie opérationnelle de mise en flottaison impose au fond de forme d'assurer une bonne répartition de la pression hydrostatique en sous-face de radier.

L'appui est réalisé par l'intermédiaire de deux plaques métalliques (de 0,4 m de largeur), l'une est ancrée dans la longrine, l'autre, en fond de radier, est simplement en contact avec le béton (polyane intermédiaire). Entre les deux, une couche de graisse permet d'assurer un coefficient de frottement minimum.

Pour la phase de réalisation du radier, une couche de sable a été compactée entre longrines et un contre-plaqué assure le coffrage du fond de radier



On peut remarquer les panneaux de ferraille préfabriqués pour les élévations supérieures. Au premier plan, détail de la précontrainte des raidisseurs et du radier

The prefabricated reinforcement panels for the upper elevations can be towed. In foreground, detail of prestressing for stiffeners and deck



Autre point de vue de la progression en escalier. Un décalage d'au moins un niveau est imposé entre deux plots successifs

Another view of the stair-step progress. An offset of at least one level is required between two successive posts

entre plaques métalliques. Le sable doit être retiré, ainsi que le contreplaqué, avant les premières phases de mise en tension.

Constituants principaux du projet

Une étanchéité particulièrement soignée

L'étanchéité est garantie par :

- ◆ le principe de la double coque ;
- ◆ la limitation des reprises de bétonnage et leur traitement très soigné, en particulier par adjonction de joints réinjectables de type Fuko : 11 km de joints auront été mis en œuvre ;
- ◆ les caractéristiques du béton : cf. infra.

Des vérifications de l'étanchéité se font à plusieurs stades de l'avancement : avant et après application de la précontrainte, avant la mise en flottaison, etc.

De la précontrainte dans tous les sens

La digue est précontrainte dans les trois directions :

- ◆ longitudinalement : 2 250 t ;
- ◆ transversalement : 730 t ;

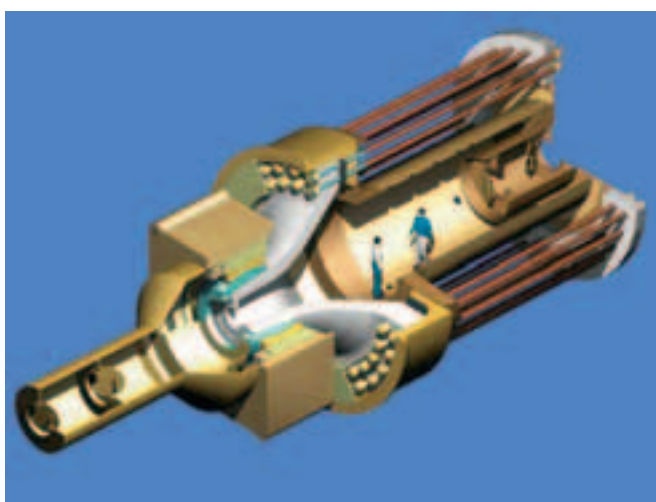
Montée des élévations par levées de 3,50 m, en coffrage grim pant

Mounting of elevations by lifts of 3,50 m, with travelling formwork



Figure 3
Représentation en 3D de la rotule. Une membrane, non représentée, protégera de l'eau de mer la zone de couplage entre les massifs béton

3D representation of ball. A membrane, not shown, will provide seawater protection for the coupling zone between the two concrete bases



► ◆ verticalement : 250 t principalement par des boucles ancrées en surface, soit un total de 3230 t dont environ 110 t de barres Macalloy.

Le procédé utilisé est le procédé BBR. Des gaines métalliques rigides de 2 mm d'épaisseur sont spécifiées dans le marché afin de garantir l'étanchéité. Les croisements de gaines génèrent une complexité d'exécution liée à l'impossibilité de maintenir une maille régulière des unités.

Cette précontrainte est associée à un ferrailage passif dont la densité moyenne de 240 kg/m³ atteint par endroit 400 kg/m³. Ces densités d'aciers actifs et passifs ne laissent que très peu de marge pour leur mise en place dans les épaisseurs prévues.

Ces faibles marges associées à des calpinages très irréguliers conduisent dans certains cas à coter dans les plans l'implantation des aciers au millimètre.

Des bétons haute performance répondant au critère de durabilité de 100 ans

Assurer à l'ouvrage une durée de vie de 100 ans nécessite l'utilisation d'un béton qui présente les

meilleures caractéristiques intrinsèques de durabilité et qui après mise en œuvre confère à la structure la meilleure étanchéité compte tenu de son utilisation.

Les caractéristiques intrinsèques de durabilité

La compacité et l'imperméabilité à l'eau et au gaz sont obtenues en diminuant la quantité d'eau et en ajoutant des fumées de silice. Ces caractéristiques sont mesurées sur les bétons d'études (perméabilité à l'oxygène et essais de porosité au mercure).

Par ailleurs, la protection des armatures est assurée en limitant la profondeur de carbonation et la pénétration des ions chlorés (mesurée sur les bétons en cours de travaux).

Une protection cathodique générale par anode sacrificielle est mise en place. Toute armature passive ou active, ou tout insert métallique (y compris la rotule), des voiles en contact avec l'eau de mer, est relié à un réseau équipotentiel en acier doux pour une mise en continuité électrique.

Les dispositions adoptées pour améliorer l'étanchéité de la structure sont :

- ◆ amélioration des conditions de mise en œuvre : maniabilité du béton (60 à 70 cm à la table DIN) limitant la taille des granulats à 16 mm et réalisation d'un plot d'essai grandeur nature ;
- ◆ limitation de la fissuration :

- en limitant le rapport E/C à 0,35,
- en utilisant un ciment CPJ 125 à faible chaleur d'hydratation,
- en testant les phasages d'exécution par une simulation thermomécanique ;

◆ traitement des reprises de bétonnage : par lavage haute pression et cure à l'eau des reprises. Un béton dit "micro-béton" avec des agrégats inférieurs à 10 mm a par ailleurs été développé pour les zones à très forte densité de ferrailage. Le béton mis en œuvre a une densité moyenne de 2,45.

La perméabilité aux ions chlore moyenne est de 600 Coulombs ("very low" suivant l'essai AASHTO). Les résistances à 28 jours spécifiées sont à la compression 54 MPa, à la traction 3,8 MPa.

A ce jour, la résistance mesurée sur éprouvettes n'a jamais été inférieure à 60 MPa.

Un système de connexion à la terre ferme très sophistiqué

La liaison de la digue au terre-plein est assurée par un système d'appui permettant des mouvements autour d'une rotule.

Le système représenté sur la figure 3 est constitué d'un axe de forme évasé (la tulipe) en appui sur une bride et ancré par soixante tirants précontraints de 120 mm de diamètre dans le béton de la digue.

La rotule, fixée à la tulipe, vient se loger dans un manchon conique solidaire du caisson culée.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Dimensions : hauteur 19 m (hors superstructures), longueur 352 m, largeur à la base 44 m, largeur corps de digue 28 m
- Tirant d'eau : 16 m
- Poids avant ballast : 130 000 t
- Poids total en service : 163 000 t
- Béton : 44 000 m³
- Aciers passifs : 10 500 t
- Précontrainte : 3 200 t
- Poids de la rotule : 770 t

L'ensemble d'un poids total de 770 t, principalement composé de pièces moulées et usinées, a été fabriqué par NFM au Creusot.

Certaines de ces pièces sont de par leurs dimensions à la limite de ce qui est réalisable :

◆ tulipe : diamètre variant de 2 à 6,5 m ; poids : 191 t ;

◆ bride : diamètre 7,3 m ; poids : 148 t.

Le transport du Creusot à Algésiras et la manutention sur site nécessitent des moyens de levage de très forte capacité.

Des mouillages définitifs de la digue réalisés par des ancrages imposants

L'ensemble des chaînes de mouillage de la digue représente 3 700 m de chaînes (diamètre 95 et 152 mm) pour un poids total de 900 t environ.

Les points d'ancrage au sol sont constitués de pieux métalliques. En effet, les reconnaissances géotechniques menées en cours de projet, ont fait apparaître des caractéristiques de sol ne permettant pas la mise en place d'ancres (présence de bancs durs).

Les pieux côté large (5 u) ont un diamètre maximal de 72'' (1,828 m), pour une longueur de 25 m et une épaisseur de 2,5'' (6,35 cm), soit environ 72 t/u.

Côté port, les trois pieux ont un diamètre de 60'' (1,524 m), pour une longueur de 20 m et une épaisseur de 2,5'' (6,35 cm), soit environ 49 t/u.

Les pieux seront mis en place par battage aérien (marteau hydraulique IHC 500) et leurs dimensions nécessitent la mobilisation de moyens maritimes importants, travaillant habituellement à l'installation de plates-formes offshore.

C'est en effet un bateau de 183 m avec une grue de 2 500 t que verront arriver les riverains du port de Monaco, fin octobre 2001!

En *back up*, un système de forage par l'intérieur du pieu est prévu en cas de refus prématuré.

Après le battage, qui est réalisé avec la chaîne connectée, cette dernière est étendue au fond et après une opération de tensionnement (minimum de 200 t), elle est "abandonnée" au fond avec un système de récupération par l'intermédiaire d'un Wrov (robot sous-marin), et attendra sagement l'arrivée de la digue.

■ UN CHANTIER HORS DU COMMUN

Il n'est pas classique de construire un parking à un endroit pour l'utiliser ailleurs, et qui plus est, flottant! De surcroît il devra résister pendant plus de 100 ans aux agressions de la mer pour assurer sa fonction de digue. Il n'est donc pas étonnant que face à cet ouvrage hors du commun, les hommes participant à l'opération aient été confrontés à des situations peu habituelles.



Ferrailage en cours (extrémité côté phare) et de ses raidisseurs. On peut observer des déviations de précontrainte, ainsi que des gaines en boucle

Reinforcement in progress (end on lighthouse side) and its stiffeners. Prestressing deviations can be seen, as well as the ducts in loops



Ferrailage de la dalle à - 12, recevant le niveau de parking le plus bas

Reinforcement of slab at - 12, receiving the lowest parking level

Un marché original à plus d'un titre

Un contrat de travaux spécifique

La nécessité de construire l'ouvrage dans un site extérieur à la Principauté de Monaco, puis de le remorquer, une fois terminé, jusqu'à son lieu d'ancrage définitif a conduit le maître d'ouvrage à rédiger un contrat spécifique, avec prise de possession uniquement après installation définitive sur le site de Monaco.

Des exigences "qualité" extrêmes

Une particularité de l'ouvrage réside dans la volonté du maître d'ouvrage de garantir une durabilité de 100 ans, et ce dans un environnement marin, donc sévère.

Cette exigence se traduit par des spécifications du marché se référant à ce qui se fait de mieux dans



Une vue de l'intérieur du "bateau". On peut remarquer les corbeaux qui vont supporter les poutres des planchers des niveaux de parking. Les cages d'escalier et d'ascenseurs commencent à sortir

View of inside of "boat." The corbels that will be supporting the beams of the parking level floors can be seen. The staircases and lifts are beginning to emerge



le monde en matière de béton soumis aux agressions marines.

Dans le quotidien du chantier, cela se traduit par des dispositions constructives et des contraintes inhabituelles dans les travaux publics.

Des études d'exécution encadrées

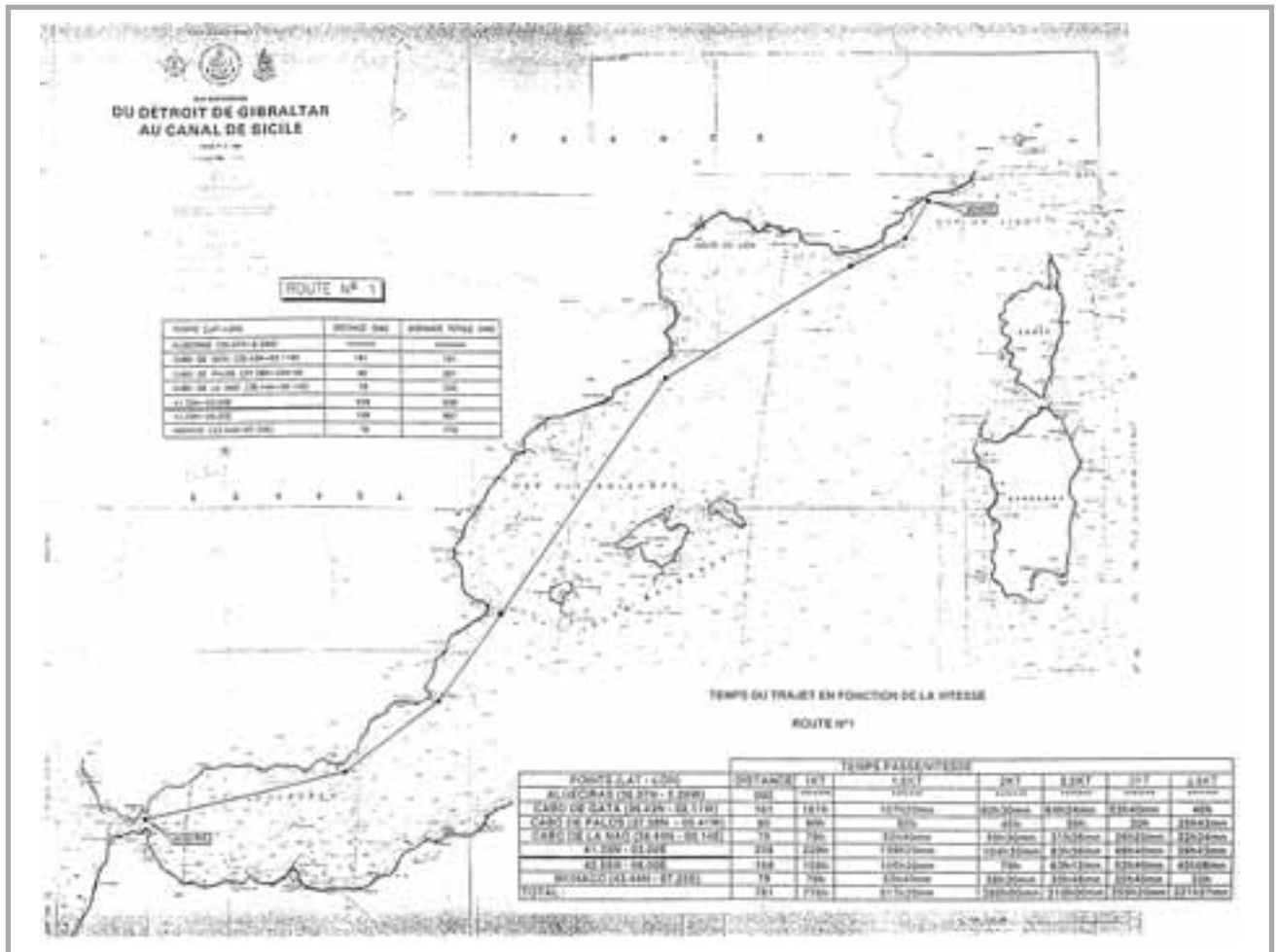
Les études d'exécution doivent être menées :

- ◆ dans le respect des paramètres de l'ouvrage résultant d'études complexes d'optimisation hydrodynamiques et structurales. Cette contrainte a conduit le maître d'œuvre concepteur à figer un certain nombre d'invariants du marché ;
- ◆ en utilisant les résultats de l'analyse aux éléments finis menée au stade de l'avant-projet sur un modèle de 25 000 nœuds.

Une organisation multisite complexe

Construit en Espagne au pied du rocher de Gibraltar – pour la Principauté de Monaco, suivant des spécifications françaises, faisant appel à l'expérience scandinave en matière d'offshore (code nor-

Figure 4
Route envisagée pour le remorquage
Road planned for towing



végien), avec un sous-traitant hollandais pour les ancrages marins –, ce projet mérite certainement le label européen!

L'organisation du chantier a dû intégrer l'éloignement géographique des intervenants entre l'Espagne, Monaco et Paris.

Des compétences pluridisciplinaires

Cette opération fait appel à trois grands métiers différents :

- ◆ le génie civil pour la construction de la digue en béton précontraint;
- ◆ la mécanique pour le système d'appui;
- ◆ l'offshore pour les phases d'installation de mouillage, de remorquage et de rotulage.

La coordination de ces intervenants, aux usages si différents, nécessite de nombreux échanges de vue.

Un phasage de construction "en escalier" contraignant

Le phasage des travaux est imposé par deux types de contraintes :

- ◆ les contraintes classiques d'entreprise : rotations de coffrage, lissage des effectifs d'exécution, lissage de l'utilisation des moyens de levage et de bétonnage, etc. ;
- ◆ les contraintes d'enchaînement imposées par le calcul : retrait gêné, taux d'application de la précontrainte, phasage de mise en tension, etc.

L'ouvrage est décomposé en huit plots dans le sens de la longueur. Compte tenu des spécificités du plot n°1 (porteur de la rotule), ce plot doit être démarré dès l'origine.

Dès lors, le déroulement du chantier est imposé du plot 2 vers le plot d'extrémité, en forme d'escalier (travail à niveaux décalés d'un plot à l'autre). Les élévations sont montées par levées de 3,50 m. Les coffrages sont de type barrage (sans tige traversante).

■ UNE OPÉRATION FINALE EXCEPTIONNELLE : LE REMORQUAGE ET LE ROTULAGE

Ces deux phases de transport et d'installation de la digue sur son site définitif ont nécessité, dès l'origine du projet, des études détaillées spécifiques de manière à :

- ◆ définir les sollicitations à prendre en compte ;
- ◆ justifier la structure sous les cas de charge associés ;
- ◆ comparer les résultats avec les calculs en phase de service ;
- ◆ déterminer des éventuels renforts.



Remorquage

Avant toute vérification de la structure, il a fallu déterminer les états de mer caractéristiques maxima envisageables pour la phase de remorquage.

Le marché établit de prendre en compte les conditions décennales. Le groupement a confié à Meteomer une étude ayant pour objectif la détermination des états de mer : Hs (houle significative) et T (période associée) pour des périodes de retour de 1 à 10 ans.

Une première étude effectuée au tout début du projet a permis un découpage de la partie de la Méditerranée entre Algésiras et Monaco en cinq zones distinctes.

Les conditions maxima suivantes ont été retenues à l'issue de cette étude pour les calculs de vérification de la digue : Hs = 6,70 m - T = 12 - 14 secondes.

Des calculs hydrodynamiques, complétés par une phase d'essais en bassin sur modèle réduit ont permis de déterminer les efforts globaux et locaux maxima appliqués à la structure et de caractériser le comportement de la digue soumis à différents états de mer (incidence de houle, amplitude et fréquence).

Plusieurs études complémentaires ont ensuite été effectuées par Meteomer de manière à mieux caractériser les conditions de traversée d'Algésiras à Monaco :

- ◆ redécoupage "plus côtier" qui a permis de réduire notablement les conditions décennales par zone, ce qui permet d'assurer qu'une route est possible sans rencontrer les conditions limites pour lesquelles la structure a été vérifiée ;
- ◆ détermination des directions de houle associées aux Hs définis ;
- ◆ statistiques de courant (circulation générale) (figure 4).

Vue depuis le plot 1 qui abrite la rotule. Un portique a permis la mise en place des 90 t de la platine et de la contre-bride. Le ferrailage de cette zone est particulièrement dense. Ce plot contient également les ancrages d'un grand nombre de câbles de précontrainte

View from post 1 which houses the ball junction. A crane allowed the placing of the 90 tons of the plate and counter-flange. The reinforcement of this zone is particularly dense. This post also contains the anchoring for a large number of prestressing cables

Cette photo de ferrailage d'un voile montre une forte densité d'aciers passifs et de gaines de précontrainte, ainsi qu'une totale irrégularité des mailles. Dans de telles conditions, la préfabrication des panneaux n'est pas envisageable

This photo of the reinforcement for a load-bearing wall shows the density of the passive steel elements and the prestressing ducts, as well as the irregularity of the grids. Under such conditions, the prefabrication of the panels is not possible

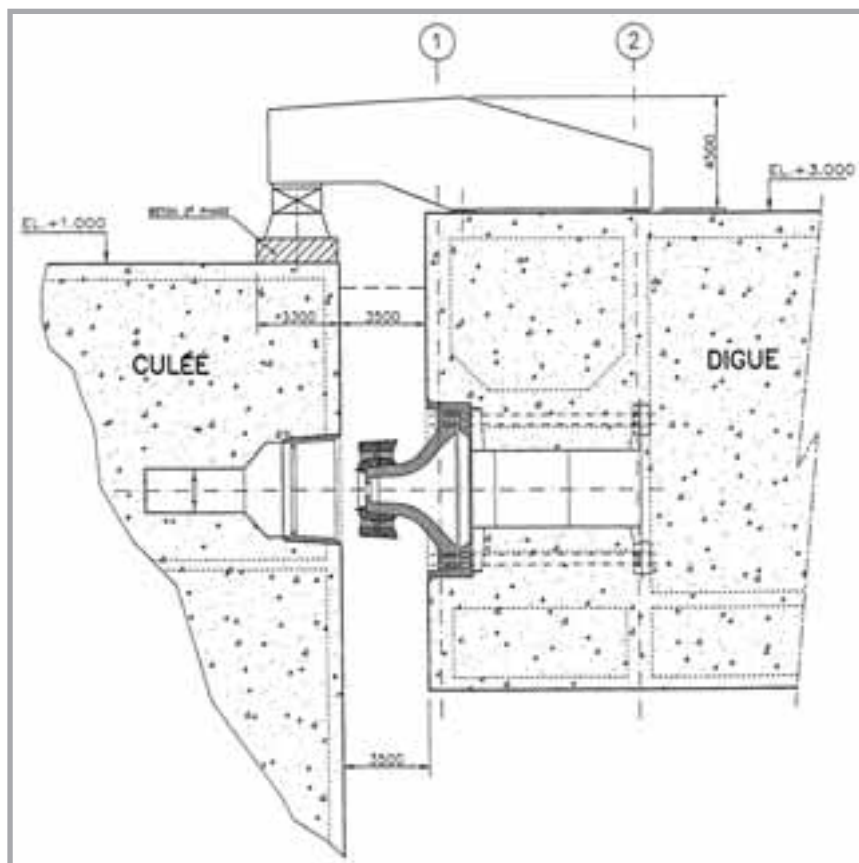


Ce bossage permet la sortie des câbles de précontrainte. On notera en particulier la densité d'aciers de fretage

This bossing allows the exit of the prestressing cables. In particular, the density of the steel bands can be seen



Figure 5
Opération de rotulage. Poutre de rotulage appui en Z. Vue longitudinale A-A
Ball junction operation. Junction Z-beam. Longitudinal view A-A



Un convoi exceptionnel

L'ensemble remorqueur-remorqué présentant une longueur totale d'environ 1 km, ce convoi ne peut être accueilli en transit dans les ports le long du trajet.

Des zones d'abris existent néanmoins, constituées par des reliefs côtiers particuliers et des zones de transition climatologique.

Le convoi devra se jouer des conditions météo et de courants. Pour cela, il sera fait appel à la technique de routage de manière à toujours rester sous couverture météo.

Trois remorqueurs de haute mer seront mobilisés pour une traction minimum nécessaire de 100 t. La vitesse maximale prévisible est environ de trois nœuds. La distance moyenne entre Algésiras et Monaco est de 800 miles nautique (1480 km). Le trajet est donc prévu en 12 jours minimum.

Rotulage

C'est la phase finale et unique pour laquelle il n'y a pas de référence existante.

Objectif : assurer l'assemblage et le boulonnage de la connexion de la digue à la culée.

Plus pratiquement, il s'agit de faire pénétrer un cône "solidaire" de la digue dans le réceptacle, conique lui aussi, ancré dans la culée.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Travaux Publics de Monaco

Maitre d'œuvre - Concepteur

Doris Engineering

Bureau de contrôle

Bureau Véritas

Groupement d'entreprises

BEC Frères (mandataire), Dragados, FCC, Triverio, S.M.M.T.

Bureau d'études structure béton

Setec TPI/Hydratec (études remorquage)

Fabrication de la rotule

NFM Technologies

Laboratoire de mise au point et contrôle des bétons

CEBTP

Ferrailage

In Situ - Armasur

Procédé de précontrainte

FCC/BBR

Installation des mouillages

Seaway Heavy Lifting

Assurances

Axa - Courtage : Marsh



Une multitude d'épingles viennent parachever le ferrailage. Des cales parfaitement calibrées permettent un respect strict des enrobages

A multitude of pins complete the reinforcement. Perfectly calibrated guides allow strict compliance with concrete cover specifications

Cette opération doit être effectuée en limitant les mouvements de la digue au droit de la rotule, au minimum de ± 2 cm, par l'intermédiaire d'un outillage de guidage.

Une étude préliminaire a été conduite dans le but de définir le principe de l'opération, le pré dimensionnement de l'outillage nécessaire et la détermination des efforts sur les structures béton digue et culée. Cette étude a permis de retenir le principe d'échouage de la digue sur la culée, constituant le seul référentiel fixe par rapport à la cible à atteindre (et la digue devrait, par ailleurs être maintenue par tout ou partie de ses mouillages définitifs).

Compte tenu de cette tolérance et du déplacement de la digue de 164000 t, les efforts mis en jeu peuvent être considérables et l'opération doit donc se dérouler avec très peu de mer et une couverture météo totale et sûre définie à 48 heures.

Devant être entièrement réversible, l'opération de mise en place des deux cônes doit être réalisée en 24 heures maximum (figure 5).

ABSTRACT

Port of Monaco extension works. Section 2 works. A precast concrete jetty 350 m long

Fr. Martareche, L. Masset

A specially designed precast jetty is currently being built in a dry dock in southern Spain. It is an original, complex and innovative structure : concrete floating jetty 350 m long weighing 160000 t, designed to receive car-parks on four levels and boat garages.

A basic element of Monaco's La Condamine port extension, this structure will be towed from Algésiras to Monaco after precasting and moored at its final site by means of an 800-t steel ball. Chains connected to steel piles will limit its movements.

Of highly pre-stressed reinforced concrete construction, the jetty is designed for a service life of 100 years.

This exceptional, very European and multidisciplinary project is to be completed with a spectacular steel-ball connection operation at summer's end 2002.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras de ampliación del puerto de Mónaco. Los trabajos del lote 2. Un dique prefabricado de hormigón, de una longitud de 350 m

Fr. Martareche y L. Masset

Se encuentra actualmente en construcción, en un dique seco especialmente acondicionado en el sur de España, una estructura original, compleja y móvil : un dique flotante de hormigón de 350 m de longitud y un peso de 160 000 toneladas, con las disposiciones necesarias para instalar los aparcamientos de vehículos en cuatro niveles y diversos garajes para embarcaciones.

Se trata del elemento primordial de la ampliación del puerto de La Condamine, en Mónaco. Esta estructura será remolcada una vez terminada su "prefabricación", desde Algeciras hasta Mónaco para su amarre en su emplazamiento definitivo por mediación de una rótula metálica de 800 toneladas. Sus desplazamientos estarán limitados por medio de cadenas sujetas a pilotes metálicos.

Esta estructura, ejecutada en hormigón altamente pretensado, se ha diseñado y construido para una duración útil de 100 años.

Estas obras fuera de lo común, muy europeas y multidisciplinarias, deberán dar fin por una operación espectacular que consiste en la conexión de la rótula a finales del verano de 2002.

Second franchissement de Strasbourg

Le tablier du viaduc d'accès

Le nouveau franchissement du Rhin au sud de Strasbourg¹ comporte trois ouvrages en béton faisant appel à des méthodes de construction contrastées.

Le tablier du pont principal comportant une travée centrale de 205 m est construit suivant la technique des encorbellements successifs.

Le tablier du viaduc d'accès côté Allemagne est coulé en place sur cintres et étaielements. Le tablier du viaduc d'accès côté France est préfabriqué sur le remblai d'accès et mis en place par poussage.

L'article qui suit présente la construction de ce dernier achevée en juin dernier (photo 1).

Alain Demare
CHEF DU SERVICE DES GRANDS TRAVAUX
Direction Départementale de l'Équipement du Bas-Rhin



Photo 1
Vue générale du chantier (en arrière plan, la construction du pont principal sur le fleuve)

General view of site (in background, construction of main bridge over river)

1. Le lecteur est invité à se reporter aux articles publiés dans *Travaux* n° 760 (janvier 2000) et n° 775 (mai 2001) traitant respectivement la conception du franchissement et la réalisation des appuis et fondations.

■ CONCEPTION GÉNÉRALE

Contraintes géométriques liées au tracé routier

Le tablier présente des rayons de 625,10 m en plan et de 12000 m en profil en long.

Le tablier long de 212 m comprend quatre travées de 52,25 m (travées de rives) et 53,75 m (travée centrale) (figure 1).

Il est constitué d'un caisson mono-cellulaire de hauteur constante égale à 3,20 m.

L'épaisseur des âmes, constante est égale à 0,40 m. L'épaisseur du hourdis inférieur est constante et égale à 0,20 m, celle du hourdis supérieur varie de 0,22 à 0,41 m (figure 2).

L'intrados, parallèle à l'extrados, présente une pente transversale de 2,5 % constante sur toute la longueur du tablier.

Compte tenu de la conjugaison des rayons en profil en long et en tracé en plan, la surface enveloppe de poussage du tablier est un cône de révolution très aplati et d'axe très légèrement incliné par rapport à la verticale.

Découpage en plots

Chaque travée est découpée en trois plots (figure 3). Les joints entre plots sont légèrement décalés par rapport aux axes des appuis de sorte à intégrer à chaque plot une entretoise déviatrice sur pile ou un déviateur en travée (les déviateurs sont situés aux environs du tiers et des deux tiers de chaque travée).

La longueur des plots est de 22,05 m pour le plot central, et varie entre 14,30 et 16,30 m pour les plots situés de part et d'autre. Au total, le tablier est préfabriqué suivant 12 plots.

Le bétonnage de chaque plot est réalisé en deux phases décalées dans le temps. On coule d'abord le U inférieur (hourdis et âmes), puis le hourdis supérieur. La reprise de bétonnage est située dans le gousset assurant la jonction entre âmes et hourdis dans une zone moins sollicitée sous efforts tranchants.

Conception du câblage

La précontrainte de poussage (photo 2) est centrée, elle comprend :

- ◆ quatre câbles 19T15S intérieurs au béton, de tracé rectiligne disposés dans les goussets supérieurs et inférieurs. Ces câbles règnent sans in-

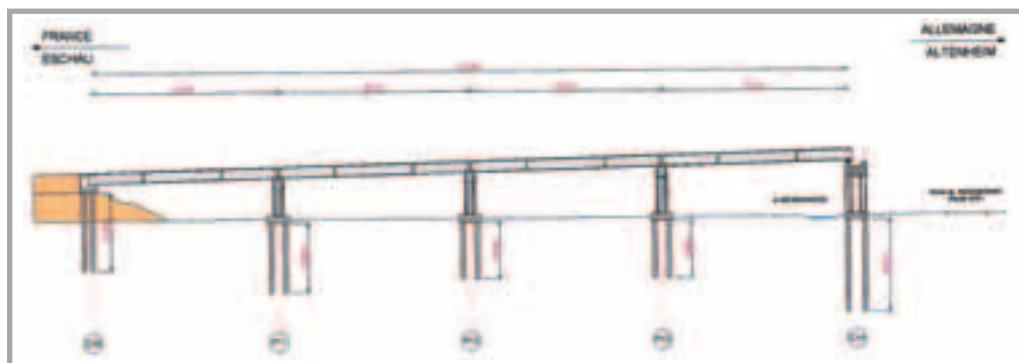


Figure 1
Coupe longitudinale - Longitudinal section



Figure 2
Coupe transversale courante
Cross section

du Rhin au sud

Guy Treffot



RESPONSABLE
DE LA SUBDIVISION
PONT SUR LE RHIN
DDE du Bas-Rhin

côté France est achevé

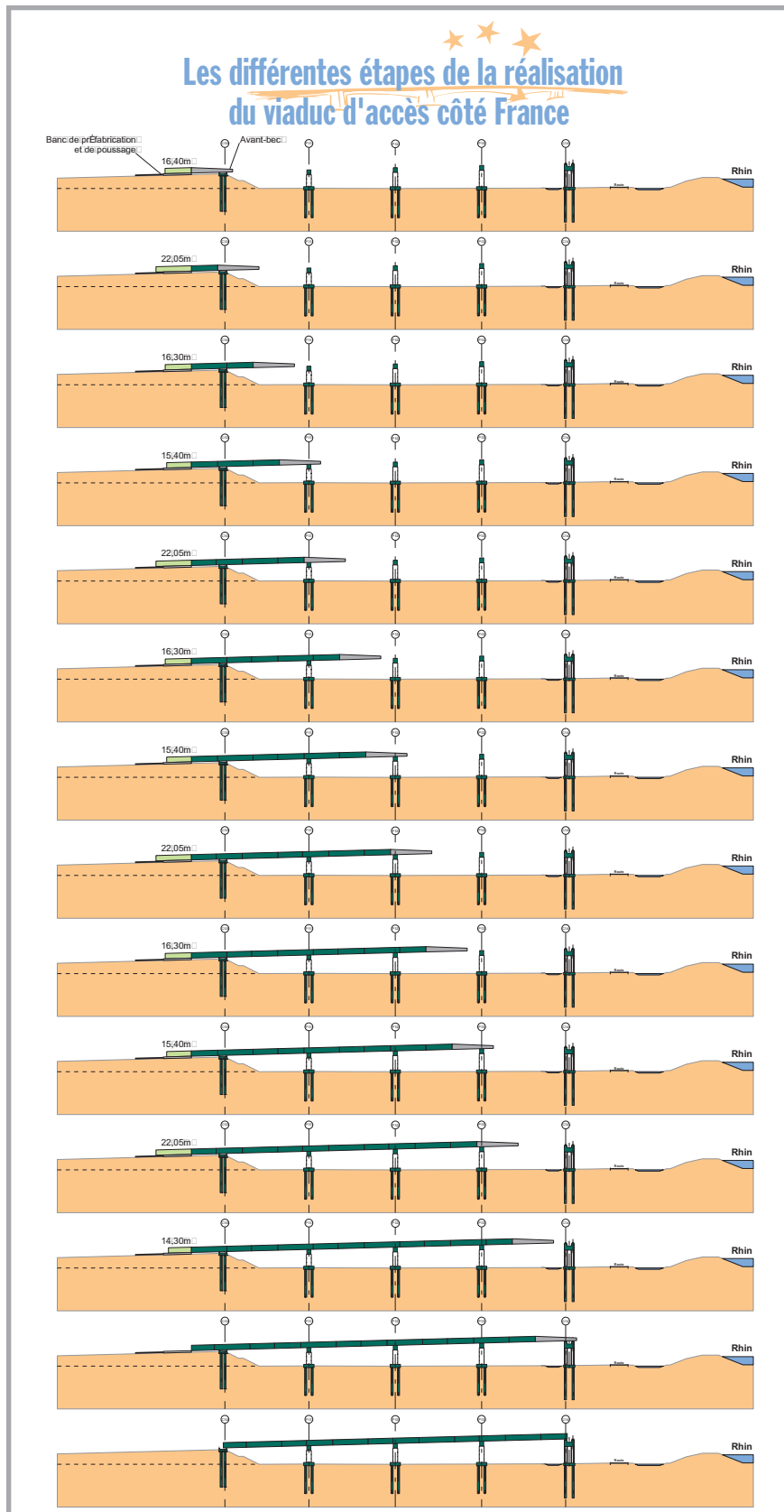


Figure 3
Cinématique
de construction du tablier

Deck construction process



Photo 2
Intérieur du caisson.
On remarquera les câbles de précontrainte
extérieurs au béton

Inside of caisson. The prestressing cables
can be seen outside the concrete

LES PRINCIPALES QUANTITÉS DU TABLIER

- Béton B65 : 2020 m³
- Aciers passifs : 306 967 kg (152 kg/m³)
- Aciers actifs :
 - précontrainte définitive : 58 946 kg (29 kg/m³)
 - précontrainte provisoire : 35 896 kg (18 kg/m³)
- Coffrages 7 100 m²

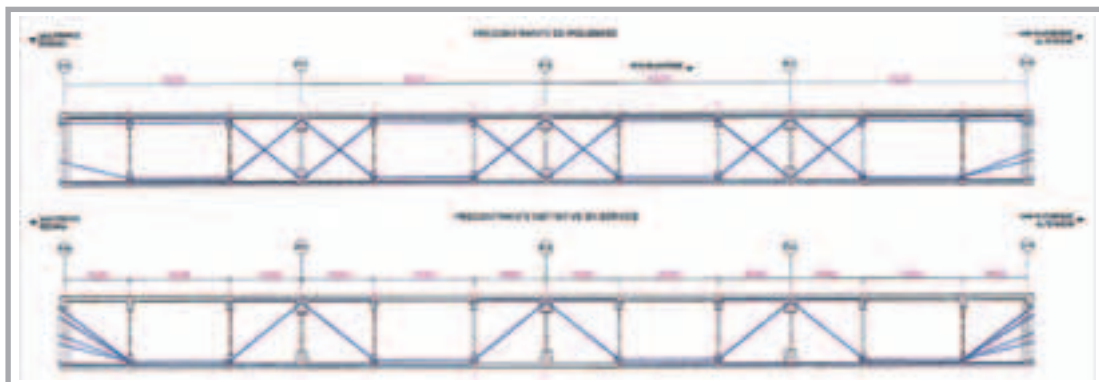


Figure 4
Précontrainte de poussage. Schémas de câblage
Prestressing for pushing operations. Cable diagrams



Photo 3
Vue aérienne du banc de préfabrication
Aerial view of precasting bench



terruption sur la longueur des plots centraux d'une part et sur la longueur des deux plots encadrant chaque appui d'autre part. Ils sont mis en tension au fur et à mesure de la construction des plots ;
 ◆ six ou huit câbles 25T15S extérieurs au béton, au tracé ondulé. Ces câbles règnent sur la longueur d'une travée complète et sont mis en tension après achèvement du dernier plot de chaque travée (figure 4).

La précontrainte définitive ajoutée à la fin du poussage constituée de câbles extérieurs comprend :
 ◆ quatre ou deux câbles 25T15S au tracé ondulé pour les travées de rive ;
 ◆ deux câbles 25T15S au tracé ondulé régnant sans interruption sur deux travées successives.

La précontrainte définitive en service

Tous les câbles "antagonistes" de poussage intérieurs et extérieurs au béton sont détendus. Les câbles intérieurs, laissés en place, sont injectés au coulis de ciment alors que les câbles extérieurs sont retirés.

La précontrainte additionnelle pouvant être mise en place ultérieurement en cas de perte de précontrainte comprend tous les ancrages et tubes déviateurs permettant de rajouter une paire de câbles extérieurs 25T15S. Ces câbles règnent sur les travées de rive d'une part et sur les deux travées centrales sans interruption d'autre part.

Le tracé ondulé de forme trapézoïdale des câbles extérieurs dans les travées est obtenu à l'aide de déviateurs situés respectivement à 15,85 m des piles et 14,35 m des culées.

La précontrainte utilisée est le système C de Freyssinet. La protection contre la corrosion des torons est assurée par injection de coulis de ciment "Super Stress M" pour les câbles intérieurs, d'un produit souple – cire pétrolière – pour les câbles extérieurs. Ce dernier choix correspond aux recommandations toutes récentes des circulaires n° 99-53 du 20 août 1999 et n° 2001-16 du 21 février 2001 du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.

La précontrainte transversale

Le hourdis supérieur est précontraint par monotrons gainés – graissés, système BBV – espacés tous les 40 cm.

■ **INSTALLATIONS SPÉCIFIQUES**

Aire de préfabrication

L'aire de préfabrication, située sur le remblai d'accès au viaduc, est décalée de 25 m par rapport à la culée (photo 3).

La construction des remblais d'accès a fait l'objet de précautions particulières. Ceux-ci ont été exclusivement réalisés à l'aide de graves du Rhin sous l'aire de préfabrication. Leur édification a été anticipée de deux ans et on a procédé à un préchargement sur une hauteur excédentaire d'environ 3 m de sorte à parfaitement maîtriser les tassements des sols d'assises compressibles.

Le suivi des tassements par tassomètres et nivellement de précision ont permis de s'assurer de la consolidation des sols de fondation et de l'absence des risques de tassements résiduels. Aussi l'aire de préfabrication est-elle fondée sur des longrines superficielles.

Deux poutres longitudinales en béton armé (section 1,20 x 0,50 m) de 30 m de longueur supportent – par l'intermédiaire d'une plate-forme constituée de HEB 400 disposés transversalement et espacés tout les 1,50 m –, le fond de moule, les coffrages extérieurs des âmes et encorbellements.

Chaque poutre, réglable en altimétrie grâce à trois vérins hydrauliques, autorise le réglage géométrique du fond de moule, permet de rattraper d'éventuels tassements des fondations et facilite le décoffrage des plots après leur achèvement. Il suffit en effet, d'abaisser l'ensemble des vérins pour décentrer le plot qui repose alors sur quatre appuis provisoires munis de selles de glissement.

Des écrous de sécurité immobilisent les vérins en position pendant la construction des plots. De par sa conception, l'aire de préfabrication est entièrement accessible par-dessous.

Les coffrages intérieurs des âmes, des déviateurs et des entretoises déviatrices sont constitués de panneaux modulaires ajustables suivant les configurations et les caractéristiques de chaque plot. Les coffrages du hourdis supérieur – partie située entre les âmes – sont supportés par des tours d'étalement Peri "Multiprope".

La totalité des coffrages est constituée de panneaux en aggloméré baké à l'exception de deux bandes sous l'intrados à l'aplomb des âmes du caisson dans l'axe des selles de glissement. Ces parements sont coffrés à l'aide de tôles d'acier en vue d'obtenir une parfaite planéité des surfaces de poussage.

Manutentions - Engin de levage

L'aire de préfabrication et les zones de stockage périphériques sont desservies par une grue à tour de 30 m de flèche se déplaçant sur des rails d'une quarantaine de mètres de longueur, parallèles au tablier.

Avant-bec

L'avant-bec de 33,60 m de longueur est constitué de deux poutres métalliques rectilignes, en profilés reconstitués soudés, d'inertie variable, entretoisées et contreventées. Chaque poutre est constituée de trois éléments assemblés sur chantier par boulons précontraints. Le poids total de l'avant-bec est de 70 t. La fixation de l'avant-bec au tablier est assurée au moyen de barres précontraintes. La hauteur des poutres de l'avant-bec (3,60 m), supérieure à celle du tablier, nécessite la réalisation de bossages supérieurs d'ancrage, liaisonnés au tablier par barres de précontrainte verticales.

Afin de faciliter l'accostage de l'avant-bec sur les piles (photo 4), (l'avant-bec en porte-à-faux maximum présente alors une flèche de 13 cm), deux vérins hydrauliques verticaux placés en extrémité permettent de relever les semelles inférieures de l'avant-bec au niveau des selles de glissement des piles et de poursuivre le poussage (photo 5).

Dispositifs de glissement et de guidage

Dispositifs de glissement

Les dispositifs de glissement sont constitués de selles d'appui métalliques recouvertes de plaques d'inox polies. Des plaques de glissement en caoutchouc fretté recouvertes de PTFE sont introduites entre la sous-face du tablier et les selles d'appui (photo 6). Afin de diminuer le coefficient de frottement entre PTFE et inox (environ 3 %), les plaques sont enduites de graisse au silicone au cours du poussage. Les selles de glissement (1,70 m x 0,70 m) sont disposées sur chaque ligne d'appui



Photo 4
Accostage de l'avant-bec sur un appui
Positioning of cutwater on a bearing



Photo 6
Détails des selles de glissement (l'opérateur introduit une plaque Néoprène - Téflon® entre la selle et l'avant-bec)
Details of sliding saddles (the operator inserts a Neoprene-Teflon® plate between the saddle and the cutwater)



Photo 5
Relevage de l'avant-bec lors de l'accostage
Lifting of cutwater during positioning

définitive et sur les quatre plots provisoires du banc de préfabrication par l'intermédiaire d'un mortier de calage.

La largeur des selles est suffisante pour que les poutres longitudinales de l'avant-bec, rectilignes, demeurent toujours à l'aplomb des selles au cours de leur trajectoire de poussage circulaire (rayon moyen en plan de 625,10 m).

Guidages latéraux

Chaque ligne d'appui est équipée de dispositifs de guidage latéral du tablier à l'intérieur et à l'extérieur de la courbe de poussage. Les dispositifs sont constitués de profilés métalliques ancrés sur les faces latérales des têtes de pile et munis de selles de glissement parallèles aux âmes recouvertes de tôles inox.

Ces dispositifs ne sont pas réglables. Les éventuelles corrections de la trajectoire circulaire du ta-

Photo 7
Dispositif de poussage
Eberspeicher
Eberspeicher pushing
system

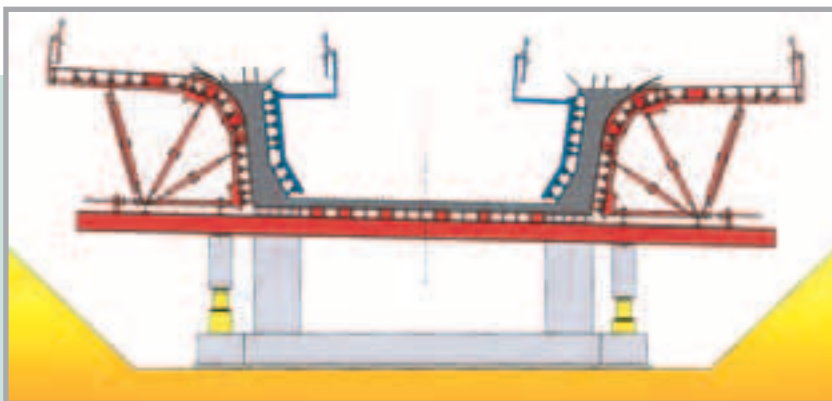
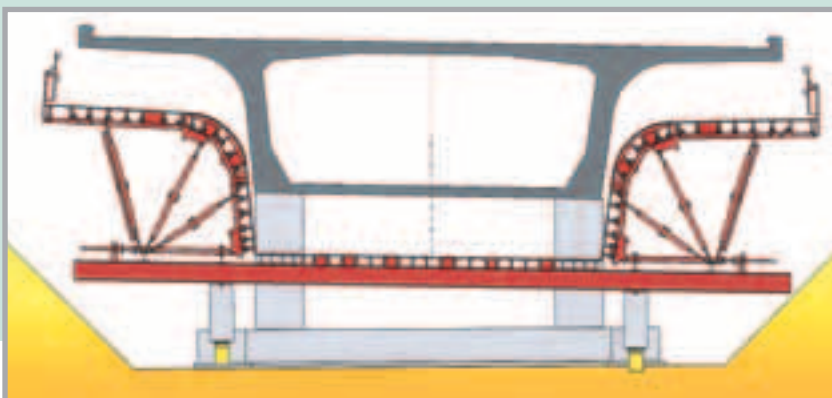
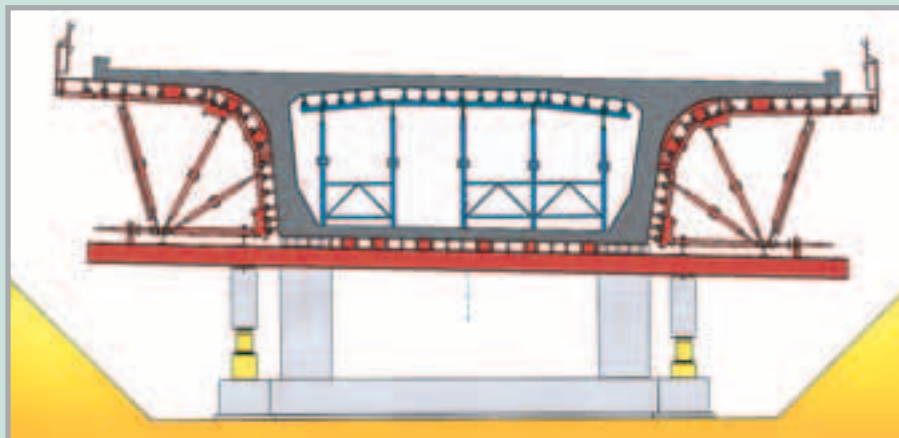


Figure 5
Cinématique de construction d'un plot. De haut en bas : bétonnage du U inférieur - Bétonnage du hourdis supérieur - Décintrement du plot achevé
Post construction process. From top to bottom : concreting of lower U - Concreting of upper deck section - Removal of completed post centring



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

- République française - Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement - Direction des Routes
- République Fédérale d'Allemagne - Land de Bade-Wurtemberg - Ministère des Transports et de l'Environnement (viaduc d'accès côté Allemagne uniquement)

Représentant des maîtres d'ouvrage pour la construction du pont principal franco-allemand sur le Rhin

DDE du Bas-Rhin

Maîtrise d'œuvre

DDE du Bas-Rhin - Service des Grands travaux

Assistances particulières à la maîtrise d'œuvre lors de la phase de réalisation des travaux

Contrôle des études d'exécution des structures

- Setra (tablier du pont principal)
- SNCF/Coredia (appuis et fondations)
- CETE de l'Est (tablier du viaduc d'accès)

Mises au point architecturales

Philippe Fraleu, architecte

Contrôle extérieur des travaux

LRPC de Strasbourg

Contrôles topographiques

Cabinet Klopfenstein et Sonntag

Coordination sécurité et protection de la santé

OTE

Titulaire des marchés de travaux (pont principal et viaduc d'accès français)

Groupement d'entreprises Bilfinger + Berger et Max Früh

Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Etudes d'exécution : Europe Etudes Gecti/Simecsol
- Travaux fluviaux : OHF
- Palplanches rive droite : Moebius
- Terrassements : Kaiser
- Fondations : Grund und Phalbau
- Injection des pieux : Erkelenzer
- Précontrainte : Freyssinet
- Fabrication des bétons : Fehr
- Fabrication des appareils d'appui : FIP
- Armatures passives : Ruhl (façonnage) Ünlütürk (pose)
- Travaux topographiques : Kappis
- Contrôles externes béton : Solen - LEM
- Fourniture des palplanches : Arbed
- Étanchéité : Schubel
- Garde-corps et corniches en aluminium : DR Equipement
- Equipements électriques : Saunier Duval
- Coffrages : Péri

blier pendant le poussage sont obtenues en interposant des cales d'épaisseur variable entre le tablier et les plaques de caoutchouc recouvertes de PTFE.

Chaque tête de pile est équipée de plate-forme de travail en consoles munies de garde-corps autorisant les circulations des compagnons en toute sécurité pendant les opérations de poussage.

Procédé et dispositifs de poussage

Le poussage est réalisé à l'aide de deux systèmes hydrauliques Eberspächer synchronisés (photo 7) constitués chacun :

- ◆ d'un vérin de levage muni en sous-face d'une plaque de PTFE pouvant glisser sur une plaque d'acier inoxydable, en face supérieure d'une tôle striée assurant un coefficient de frottement élevé sous le tablier;

- ◆ d'un vérin horizontal prenant appui sur un bâti solidaire de la culée et déplaçant le vérin vertical d'une course d'environ 200 mm.

Chaque système hydraulique est disposé sous l'axe des âmes du tablier. Le massif de réaction est assuré par la culée proprement dite.

Le cycle de poussage est le suivant :

- ◆ montée des vérins de levage et mobilisation de la réaction d'appui vertical du tablier;

- ◆ poussage des vérins horizontaux et entraînement du tablier par frottement;

- ◆ en fin de course, descente des vérins de levage;

- ◆ rentrée des vérins horizontaux à leur position de départ, un nouveau cycle peut alors commencer.

Le tablier, d'un poids total de l'ordre de 5 200 t, présente une pente longitudinale voisine de 3 %. Pour assurer la retenue du tablier au repos, les massifs d'appui provisoires du tablier situés à l'avant de la culée sont revêtus d'une tôle striée assurant un coefficient de frottement élevé.

L'effort total de poussage développé en fin de poussage du tablier, pour vaincre la pente ascendante et les frottements, est de l'ordre de 300 t.

■ CYCLE DE CONSTRUCTION DES PLOTS

Le cycle de construction d'un plot se décompose de la manière suivante (figure 5) :

- ◆ les coffrages extérieurs sont nettoyés et remis en état le cas échéant, la plate-forme est réglée de sorte à assurer le respect de la géométrie de poussage de l'intrados du tablier;

- ◆ les cages d'armatures du U inférieur, assemblées en temps masqué sur un gabarit en arrière de l'aire de bétonnage, sont treuillées en un seul élément dans les coffrages. Des glissières métalliques et des rouleaux, dont les axes sont consti-

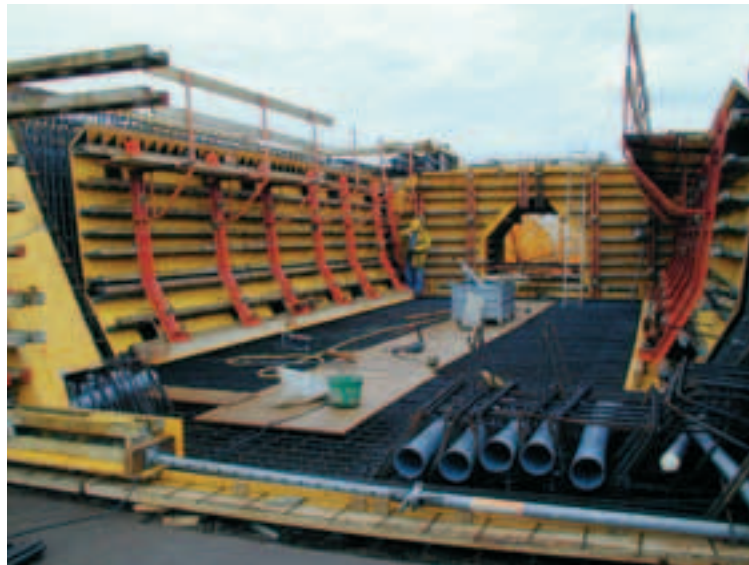


Photo 8
Coffrage et ferrailage
d'un plot

*Shuttering
and reinforcement
for a post*



Photo 9
Bétonnage d'un plot
Concreting of post

tués par les aciers transversaux de la cage, facilitent le déplacement de la cage d'un poids total d'environ 10 t;

- ◆ après pose des ancrages, des tubes déviateurs et des gaines de précontrainte, les coffrages intérieurs des âmes, les coffrages des entretoises déviateuses et les coffrages des masques sont ensuite mis en place et réglés (photo 8);

- ◆ le bétonnage à la pompe du U inférieur peut alors débuter (photo 9). On bétonne d'abord les goussets inférieurs de part et d'autre, les hourdis inférieurs puis la hauteur restante des âmes en trois passes de sorte à assurer un mariage correct des couches de béton et réduire les écarts d'âge du béton et donc les différences d'aspect des parements.

La vibration est assurée par des vibreurs externes fixés aux coffrages et des aiguilles vibrantes actionnées manuellement par les compagnons.

Les coffrages intérieurs sont munis de talonnettes pour éviter le reflux du béton haute performance (très fluide) au niveau des surfaces non coffrées du hourdis inférieur lors du bétonnage des âmes;

- ◆ dès le jour suivant, les coffrages intérieurs des



Photo 10
Mise en tension des câbles intérieurs
Tensioning of inside cables

âmes et entretoises sont retirés, la cure des bétons est soigneusement appliquée et les étaitements (tours Peri Multipropre) et coffrages du hourdis supérieur en partie centrale sont installés et réglés ;

- ◆ on pose alors les armatures passives du hourdis supérieur, les monotorons gainés graissés de la précontrainte transversale et les gaines de précontrainte intérieure ;

- ◆ le bétonnage du hourdis supérieur, réalisé à l'aide d'un béton fluide non retardé, ne pose aucune difficulté particulière (le ferrailage est, il est vrai, peu dense). La vibration est assurée à la règle vibrante en pleine largeur. Le talochage est assuré à l'aide d'une surfaceuse à disque. Compte tenu de la présence de super plastifiant Glenium 27 dans la formule de béton ayant un effet retardateur de prise, cette opération intervient très tardivement après la mise en œuvre du béton (généralement 5 à 6 heures). La cure des surfaces non coffrées est assurée à l'aide de panneaux de polystyrène expansé qui assurent en outre une bonne isolation thermique des bétons par temps froids ;

- ◆ lorsque la résistance requise des bétons est atteinte (43 MPa à la compression), on procède à la

mise en tension des câbles de précontrainte longitudinaux soit deux paires de câbles 19T15 régnant sur la longueur de chaque plot plus quatre paires de câbles 25T15 régnant sur la travée entière au troisième, sixième, neuvième et dernier plot (photo 10) ;

- ◆ le décintrement du plot, est alors obtenu par abaissement des vérins de la plate-forme de préfabrication ;

- ◆ le poussage peut alors débuter par pas de 20 cm (photos 11, 12, 13, 14 et 15) ;

- ◆ l'enlèvement des étais du hourdis supérieur s'effectue en temps masqué durant cette phase ;

- ◆ le nettoyage, les ragréages éventuels et les finitions des parements extérieurs sont exécutés entre le banc de préfabrication et la culée à l'aide d'échafaudages de service au fur et à mesure du poussage ;

- ◆ la mise en tension des monotorons transversaux du plot n est généralement effectuée après poussage, en temps masqué, durant la construction du plot n + 1.

A partir de la seconde travée, la durée optimisée de construction des plots a été d'une semaine pour les premier et second plots de chaque travée, de



Photos 11, 12, 13, 14
Tablier en cours de poussage à différentes phases de la construction
Deck during pushing in different construction phases



deux semaines pour le troisième. Dans ce dernier cas, la durée plus élevée du cycle s'explique par la présence des déviateurs sur pile plus complexes à réaliser d'une part, par les opérations plus longues de mise en précontrainte des câbles extérieurs de la travée complète d'autre part. La mise en place de gaines polyéthylène nécessite en effet que les étais et coffrages intérieurs soient entièrement retirés.

Quelques points particuliers de la construction

Début et fin du poussage

Lors du poussage du premier plot, l'avant-bec repose directement sur les vérins de poussage. La réaction verticale sur les vérins étant insuffisante pour mobiliser le frottement, le premier plot est d'abord tiré à l'aide de câbles reliés aux vérins de poussage.

En fin de poussage, l'avant-bec est démonté en trois étapes afin d'éviter les coupures de circulation totales au-dessus de la route du Kuhnensand longeant le Rhin (photos 16 et 17).

Lorsque le tablier quitte les appuis provisoires du banc de préfabrication (photo 18), le caisson présente un porte-à-faux arrière de 25 m et une flèche de 6 cm. Afin d'éviter des effets dynamiques préjudiciables à la structure, les réactions d'appui verticales sont progressivement déchargées à l'aide de vérins disposés sur des dés accolés aux appuis provisoires.

Par ailleurs des appuis provisoires intermédiaires disposés à une quinzaine de mètres en arrière de la culée permettent de limiter les contraintes de traction en fibre supérieure du tablier au droit de la culée.

Bétonnages par temps froid

L'hiver 2000 - 2001 a été peu rigoureux en Alsace. Quelques bétonnages se sont déroulés par des températures voisines de zéro voire légèrement inférieures. Les précautions suivantes ont été prises pour éviter le gel du béton en phase de durcissement. Pour le U inférieur :

- ◆ mise en place de plaques isolantes en polystyrène, de 6 cm d'épaisseur, sur les surfaces non coffrées du hourdis inférieur ;
- ◆ mise en place d'un générateur d'air chaud sous le fond de moule (des films polyanes sont disposés en périphérie des coffrages limitant les déperditions de chaleur).

Pour le hourdis supérieur :

- ◆ isolation des surfaces non coffrées ;
- ◆ mise en place d'un générateur d'air chaud dans le caisson.

Mise sur appuis définitifs

Chaque ligne d'appui est vérinée et réglée à sa cote altimétrique définitive. Les selles de glissement



Photo 15
Vue aérienne du viaduc
Aerial view of viaduct



Photos 16 et 17
Démontage de l'avant-bec
Dismounting of cutwater



Photo 18
Le tablier achevé est sorti du banc de préfabrication
Completed deck is removed from prefabrication bench





sont retirées et les dés d'appui provisoires démolis (l'interposition d'un film polyane a permis de ne pas endommager les bossages définitifs que l'entrepreneur avait choisi de réaliser avant poussage du tablier).

Les bossages supérieurs ont ensuite été réalisés par injection d'un mortier de calage spécial après mise en place d'une plaque métallique coiffant chaque appareil d'appui. Les résistances à la compression élevées du mortier au jeune âge autorisent le transfert de charges aux appuis définitifs à 24 heures.

Les épaissements ponctuels des encorbellements au droit des réservations pour joints de chaussée formant obstacle par rapport aux coffrages du banc de préfabrication durant le poussage – tout comme les tenons parasismiques venant se loger dans des réservations du hourdis inférieur au droit des piles – sont réalisés en dernier lieu.

Injection à la cire des câbles de précontrainte

Les opérations d'injection à la cire pétrolière des câbles extérieurs se sont déroulées de manière satisfaisante.

S'agissant de l'un des premiers ouvrages neufs injectés suivant cette technique en France, la préparation du chantier avait fait l'objet d'une attention toute particulière de la part de l'entrepreneur et de la maîtrise d'œuvre.

La cire pétrolière raffinée par Elf est réchauffée sur chantier à une température de 100 °C pour assurer une parfaite injectabilité des torons à l'intérieur des conduits. A cette température, la cire est extrêmement fluide.

Aussi, le moindre défaut d'étanchéité des gaines polyéthylènes ou des organes particuliers (tromplages, capots, raccords...) présente des effets désastreux pour la conduite du chantier et pour la sécurité des compagnons (risques d'éclaboussures...).

Les contrôles préalables systématiques de l'étanchéité des gaines polyéthylènes à l'air ont permis d'injecter la cire sans qu'aucune fuite ne survienne durant les opérations.

L'injection de la cire a été réalisée sous une pression effective de 3 bars et en maintenant une dépression à l'intérieur de la gaine de 1 bar à l'aide d'une pompe à vide située à l'autre extrémité de la gaine.

■ CONTRÔLES SUR CHANTIER

Nivellement - Géométrie de poussage

Il est important de s'assurer du respect de la géométrie de poussage tout au long de la construction du tablier, toute variation significative étant sus-

ceptible d'introduire des efforts parasites dans la structure dimensionnée en prenant en compte des tassements différentiels de ± 1 cm entre deux appuis successifs.

Les précautions suivantes sont notamment prises :

- ◆ les tassements des différents appuis sont vérifiés par nivellement de précision à l'issue de chaque phase de poussage ;
- ◆ la conformité du réglage de géométrie du fond de moule est contrôlée par nivellement avant construction de chaque plot ;
- ◆ les flèches de l'avant-bec avant accostage sur piles sont mesurées et comparées aux valeurs théoriques de calcul.

Suivi de la fissuration du tablier

Des relevés de fissuration sont réalisés à l'issue de chaque phase de construction (mises en précontrainte des plots ou travées, poussages, relevages de l'avant-bec...). La comparaison des fissures relevées avec les diagrammes de contraintes dans les sections correspondantes est systématiquement réalisée par les bureaux d'études afin de déterminer le caractère prévisible ou anormal de ces fissures, d'en rechercher les causes et de cerner les conséquences pour les structures définitives. Ces relevés ont notamment mis en évidence l'apparition de fissures transversales d'ouverture modérée (de 0,05 à 0,25 mm) dans les zones les plus tendues du hourdis supérieur en cours de poussage.

Par ailleurs, la réalisation de chaque plot en deux phases décalées de quelques jours (U inférieur puis hourdis supérieur) génère une microfissuration de retrait, perceptible uniquement lorsque le plot concerné a quitté le banc et que le hourdis est soumis à des tractions.

Ces fissures se sont entièrement refermées une fois le tablier mis en place sur ses appuis définitifs.

Epreuves d'information des bétons

La maturométrie n'a pas été mise en œuvre sur le chantier, pour vérifier la résistance à la compression au jeune âge du béton avant mise en tension des armatures de précontrainte de chaque plot, l'entrepreneur ayant choisi de s'en tenir aux essais mécaniques prévus par le fascicule 65 A.

Les éprouvettes confectionnées sont conservées sur le hourdis supérieur du tablier. La représentativité des conditions de conservation des éprouvettes en période hivernale a été validée à l'issue de suivis de maturation des bétons par mise en place de sondes thermocouples reliées à une centrale d'acquisition de données, les sondes étant placées dans différentes sections représentatives (goussets, extrémité d'encorbellement...) dans le

plot venant d'être bétonné et dans les éprouvettes conservées dans des environnements contrastés (à l'extérieur, sur le tablier, au sol, dans le caisson, avec ou sans protection isotherme).

■ CONCLUSION

Les travaux du viaduc d'accès se sont déroulés conformément aux prévisions du calendrier prévisionnel et aux objectifs de qualité fixés par le marché.

A l'heure actuelle (septembre 2001), les travaux des tabliers du pont principal au-dessus du fleuve et du viaduc d'accès côté allemand se poursuivent sans aléas majeurs.

La conception et réalisation d'un ouvrage d'art résultent du long travail de toute une équipe associant maîtrise d'œuvre, architecte, entrepreneurs, bureaux d'études et laboratoires.

Aussi, doivent être associés à la rédaction du présent article :

- les collaborateurs de la subdivision "Pont sur le Rhin" de la DDE du Bas-Rhin et notamment MM. Teutsch, Hecht, Marulier et Scheibling;
- le groupe Ouvrages d'art du Laboratoire régional des ponts et chaussées de Strasbourg et notamment MM. Cochet, Launaire et Boulet;
- la division des Grands ouvrages d'art du Setra et notamment MM. Bouchon, Le Faucheur, Legeron et M^{me} Pero;
- le département Ouvrages d'art du CETE de l'Est et notamment MM. Corfdir et Simon;
- le groupement d'entreprises Bilfinger + Berger et Max Früh et notamment MM. Huppert, Dal, Blaschko, M. Lauck et Siedel;
- Europe Etudes Gecti/Simecsol - Département Grands ouvrages d'art et notamment MM. Vassord et Ello;
- le groupement SNCF/Coredia et notamment MM. Bousquet, Commun et Richard;
- M. Fraleu - Architecte.

ABSTRACT

Second crossing of the Rhine south of Strasbourg. Completed deck of access viaduct on French side

G. Treffot

The crossing of the Rhine between Le Altenheim and Eschau south of Strasbourg, almost a kilometre long, includes three concrete bridge structures : a main bridge over the river and access viaducts on each side.

This article describes the construction on the French side of the deck of the viaduct, 212 m long, built on the access embankment and placed by pushing.

RESUMEN ESPAÑOL

Segundo franqueo del Rin en el sur de Estrasburgo. Terminación del tablero del viaducto de acceso por la orilla francesa

G. Treffot

El franqueo del Rin, entre Altenheim y Eschau, al sur de Estrasburgo, de una longitud de cerca de un kilómetro, consta de tres estructuras de hormigón : un puente principal sobre el río y dos viaductos de acceso por ambas márgenes. El presente artículo tiene por propósito presentar la construcción del tablero del viaducto, por el lado Francia, de una longitud de 212 m, ejecutado en el terraplén de acceso e instalado por empuje.

L'autoroute A66 —

Le chantier de l'A66 change de teinte. Après les terrassements, vient la période de la mise en œuvre des chaussées. L'approvisionnement des granulats pour leur fabrication est terminé : sur l'emplacement de la future aire de repos de Mazères les centrales de fabrication d'enrobé sont en fonction depuis le mois de juillet et poursuivront leur activité jusqu'à la fin de l'année 2001. Durant cette période, la section courante, les échangeurs, bifurcations sur l'A61 et raccordements seront réalisés.

Au fur et à mesure que ces travaux avancent, les équipements sont mis en place. Ainsi, les travaux de clôtures et les aménagements paysagers sont en cours en remontant depuis Pamiers jusqu'à l'A61. Des fourreaux sont également prêts à recevoir un réseau de fibres optiques. Sous peu, démarreront les installations des derniers aménagements : gares de péages, glissières de sécurité, signalisation... Tout est conforme aux prévisions, tant pour la gestion technique que pour les délais.

Aussi, dans six mois – huit mois au plus – cette nouvelle autoroute pourra être inaugurée au printemps 2002. Nouvelle, elle l'est à bien des égards. C'est la première à venir désenclaver la basse Ariège.

Une autre nouveauté de l'A66 est de savoir parcourir un paysage en l'épousant, en s'y intégrant. Une attention constante a été portée sur le respect de l'environnement et du territoire traversé. Courbes, contre-courbes, vallonnements, l'autoroute suit toutes les caractéristiques du modelé toscan des coteaux du Lauragais et du panorama de la plaine de l'Ariège, face aux Pyrénées.

Pour toutes ses raisons, et aussi parce que le chantier progresse parfaitement, la construction de l'A66 procure une grande satisfaction.

■ PRÉSENTATION DE L'AUTOROUTE A66

La liaison autoroutière entre Toulouse et Pamiers constitue un maillon important des infrastructures d'aménagement du territoire. Son aménagement s'intègre au programme de la liaison européenne E9 Paris-Toulouse-Barcelone. D'une longueur de 39,1 km, elle relie l'autoroute A61 Toulouse-Narbonne à la RN20 au niveau de la commune de Pamiers, et favorisera ainsi le désenclavement de l'Ariège et du piémont Pyrénéen (figure 1).

L'autoroute A66 emprunte le département de la Haute-Garonne sur 23 km et celui de l'Ariège sur 17 km, ce qui permet un découpage du chantier en deux TOARC présentant des visages bien différents techniquement (figure 2 et photo 1).

Le rayon minimal en plan est de 1800 m et la rampe la plus importante est de 5 %.

L'A66 sera exploitée en système de péage fermé avec une gare de péage en pleine voie à Pamiers et des gares de péages sur les échangeurs de Nailloux et Mazères (figure 3).

■ LE TOARC N°1

Ce premier TOARC traverse les coteaux du Lauragais et se développe de la bifurcation avec l'A61 (au kilomètre 0) jusqu'au viaduc sur l'Hers à Mazères (au kilomètre 22,8).

C'est l'entreprise GTM Construction qui réalise les travaux de terrassement et les ouvrages d'art courants (cf. article suivant "A66. TOARC 1. Section Montesquieu-Lauragais-Mazères"). Ce chantier a nécessité un encadrement de 50 personnes avec un effectif de pointe de 450 personnes.

Organisation des travaux de terrassements

Ce site magnifiquement vallonné offre une succession de déblais et remblais qui a permis une optimisation du mouvement des terres en équilibrant déblais et remblais avec un volume déplacé de 4 500 000 m³.

La hauteur des plus grands déblais est de 30 m pour une ouverture de 300 m.



Figure 1
Cartes de présentation
Maps



Figure 2
Le tracé
The route

Toulouse-Pamiers

Céline Reynes
CHARGÉE DE COMMUNICATION
ASF

Jean-Marc Castel
PROFESSEUR AGRÉGÉ
Lycée Andréoussy (Castelnaudary)



Eric Marchisone
CHEF DE TRAVAUX
Lycée Andréoussy



Henri Pillier
DIRECTEUR DE L'AGENCE
DE TOULOUSE
Freysinet

Avec la contribution de la division Travaux
de Scetauroute



Photo 1
Déblai du TOARC 1 et vue sur la vallée de l'Ariège
Cuttings of project Phase 1, and view of Ariège valley

Les terrassements se sont déroulés de juin 1999 à avril 2001 et ont employé :

- ◆ 2 échelons de décapeuses CAT 631 E produisant 7000 m³/j chacun ;
 - ◆ 2 échelons de pelles CAT 375 avec des tombeaux CAT 769 produisant 4000 m³/j chacun ;
 - ◆ 1 échelon constitué d'une pelle 345 et de tombeaux articulés produisant 3000 m³/j.
- L'ensemble assurant une production journalière de 25000 m³/j en un poste (photo 2).

Mise en œuvre des remblais

Les terrassements ont nécessité la mise en œuvre de techniques spécifiques.

Assises en zones compressibles

La quasi-intégralité des remblais se trouvait en zones compressibles ce qui a nécessité la mise en œuvre de quelque 400 km de drains verticaux pour accélérer la consolidation des sols d'assises (photo 3).

Traitement à la chaux

Les sols rencontrés sont des sols fins de type A1, A3 et C2A1 selon la classification GTR. Les sols étaient souvent sableux et manquaient de cohésion ce qui nécessitait un traitement à la chaux de 1 à 1,5 %.

La chaux était approvisionnée par train puis par semis à raison de 500 t/j. Les couches de remblais

Figure 3
Le planning
Planning schedule



Photo 2
Terrassements
sur le TOARC 1
*Earthworks of project
Phase 1*



Photo 3
Mise en œuvre
des drains verticaux
*Placing
of vertical drains*

Photo 4
Traitement
des sols à la chaux
Lime treatment
of soils



Photo 5
Extraction
sur l'emprunt de Royat
Extraction from Royat
borrow



Photo 6
Echelon
de tombereaux
Echelon
of earthmovers



Photo 7
Coffrage de pile
de PS
Overpass
pier shuttering



Photo 8
Habillage des piles
avec des briquettes
Brick facing on piers



étaient malaxées à l'aide de pulvimixeurs Raco 550 et 450 puis compactées avec des vibrants V5 (photo 4).

Constitution des remblais

La technique de mise en œuvre des remblais a été celle du noyau inversé avec des matériaux moins bons au centre du remblai. Pour les remblais de grandes hauteurs, des banquettes de stabilisation ont été mises en œuvre latéralement.

Réalisation de la couche de forme

La couche de forme de 0,35 m est réalisée en graves non traitées 0/80 issues des emprunts ouverts sur le site situés proche du tracé en Ariège. Le transport des matériaux s'est fait en semi-remorques de 50 t empruntant un ouvrage provisoire pour le franchissement de l'Hers, ce qui permettait de rester sur l'emprise du chantier. La couche de forme est réglée à l'aide d'une niveleuse ou d'une raboteuse robotisée avec un système GPS. Le système permettait une grande rapidité de mise en œuvre et permettait également de travailler de nuit car le planning imposait de travailler en deux postes. La portance de la plate-forme obtenue était alors de 80 MPa au minimum.

■ LE TOARC N°2

Le second TOARC relie le viaduc de l'Hers à la RN20 à Pamiers en se fondant à la vallée de l'Ariège. Ce tronçon est projeté en remblais rasants. Il est donc plus classique, mais est rendu difficile par la présence d'une forte densité de réseaux existants qui ont nécessité des travaux préliminaires de rétablissement ou de déviation très importants.

Les terrassements sont composés de 650 000 m³ de déblais et de 1 900 000 m³ de remblais dont 1 400 000 m³ de graves issues de la carrière de Royat ouverte sur le site (photo 5).

Les terrassements se sont déroulés de juin 1999 à mai 2000 et ont employé :

- ◆ un échelon de décapeuses CAT 631 avec un bouter D10 pour le décapage et le déblai principal ;
- ◆ 2 échelons de pelles CAT 375 avec des tombereaux produisant 4 000 m³/j chacun ;
- ◆ une dragueline sur la carrière de Royat.

La très bonne qualité des sols de l'emprunt a permis de réaliser une arase de terrassement avec une portance de 100 MPa, et d'éviter ainsi la réalisation d'une couche de forme (photo 6).

Pour les étudiants du lycée Andréossy, les différentes visites des travaux de terrassements ont permis de connaître les différentes techniques et engins de terrassement. Le décalage des visites dans le temps permettait de se rendre compte des possibilités de production d'un gros chantier de terrassement.

■ LES OUVRAGES D'ART COURANTS

Les ouvrages d'art courants sont réalisés par GTM Ouvrage d'art sur le TOARC 1 et par Maia Sonnier (filiale de Guintoli) sur le TOARC 2.

La construction de ces ouvrages a permis à deux étudiants du lycée Andréossy de réaliser leur stage de BTS Travaux Publics dans chacune des deux entreprises où ils ont vécu une expérience très riche techniquement et humainement en s'immergeant dans un vaste chantier.

Les passages supérieurs

Les passages supérieurs sont au nombre de 23 sur l'ensemble du tracé (11 sur le TOARC 1 et 12 sur le TOARC 2) et sont de type pont dalle précontrainte.

Les culées sont généralement fondées sur des pieux de diamètre 1000 forés au *bucket* ou à la benne preneuse à l'intérieur d'un tube métallique provisoire. Les piles sont fondées sur pieux ou semelles superficielles selon la qualité des sols rencontrés.

Les piles sont réalisées en deux levées :

- ◆ une première partie de hauteur variable sur chacun des ouvrages qui permet d'atteindre le bon sol;
- ◆ une seconde partie qui constitue la partie architecturale de la pile.

L'entreprise Maia Sonnier a mis au point la partie architecturale avec un coffrage spécial réalisé par l'entreprise Coffrin de Salles-sur-l'Hers (photos 7 et 8).

Les tabliers sont coffrés sur des plateaux coffrants reposants :

- ◆ sur des tours d'étalement en zone courante;
- ◆ sur des cintres réalisés en profilés HEB sur les passes charretières et sur les talus des culées;
- ◆ sur des consoles spéciales ancrées sur les piles (entreprise GTM) lorsque le montage des tours n'était pas possible.

La forme arrondie de l'intrados est réalisée avec des coffrages d'encorbellements spéciaux réalisés par l'entreprise Coffrin, et reposant sur les plateaux coffrants (photo 9).

La précontrainte des tabliers est réalisée par GTM Ouvrages d'art sur le TOARC 1 et par Freyssinet sur le TOARC 2.

Les tabliers sont ensuite habillés avec des corniches spéciales en béton armé préfabriquées par l'entreprise Prefabay de Pamiers. Toutes les corniches de l'A66 représentent plus de 2 km de corniches et ont été préfabriquées dans quatre moules métalliques sur une période de 6 mois. Les corniches sont posées avec un palonnier à centre de gravité déporté et sont ensuite provisoirement soudées aux armatures en attente du tablier avant clavetage définitif (photo 10).

Les élèves de seconde du lycée Andréossy ont étu-



Photo 9
Etalement
du PS 55 par GTM
*Strutting of overpass
55 by GTM*



Photo 10
Pose de corniches
Placing of cornices



Photo 11
Réalisation du PI 229
Underpass 229

dié de manière détaillée la réalisation et la pose des corniches, en fabriquant ces corniches au sein de l'établissement. Des visites de chantier et de l'usine de préfabrication ont complété cette initiation qui a permis à un grand nombre d'élèves de connaître les métiers du génie civil et ainsi de s'orienter vers ces métiers.

Les passages inférieurs et ouvrages hydrauliques : 27

Les passages inférieurs et ouvrages hydrauliques sont des ponts cadres fermés réalisés en trois phases :

- ◆ réalisation du radier avec les goussets;
- ◆ réalisation des piédroits;
- ◆ réalisation de la dalle.

Les cadres sont réalisés en deux parties scindées par un joint de construction se situant à l'axe de l'autoroute (photo 11).

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France, direction opérationnelle de la Construction de Toulouse

Maitre d'œuvre

Scetauroute (études et travaux)

TOARC

GTM et Guintoli

Chaussées

Routière Morin et Lefoll-Malet



LES OUVRAGES PARTICULIERS

Ces ouvrages ont fait l'objet de marchés séparés.

Le franchissement du canal du Midi PI 017

Pour le franchissement du canal du Midi, œuvre de Pierre-Paul Riquet classée au patrimoine mondial de l'Unesco, il a fallu rechercher une qualité architecturale avec une géométrie harmonieuse et s'intégrant aux composantes du paysage.

Ainsi les culées ont intégré les anciens chemins de halage et le tablier rappellera la silhouette des anciens ouvrages du canal avec des poutres de hauteurs variables donnant un profil en arc.

Comme sur tous les ouvrages de l'A66, les parements rappellent les murs de la région avec des incrustations de bandes de briquettes horizontales. Le génie civil de cet ouvrage est réalisé par l'entreprise Dodin.

Les culées sont fondées sur 24 pieux de diamètre 1 200 et réalisées à l'abri de batardeaux en palplanches.

L'ouvrage est constitué de deux tabliers de 11,25 m de large reprenant chacun une voie de l'autoroute. Les tabliers ont une travée isostatique de 36 m et ont un biais de 125,5 gr avec les appuis.

Ce sont des ouvrages mixtes de type bipoutre avec un hourdis en béton armé.

L'ossature métallique est réalisée par l'entreprise Matière. Elle est constituée de deux poutres principales métalliques en forme d'arc (hauteur variant de 2,6 m sur appuis à 1,70 m en travée) d'entraxe 6,50 m. Ces poutres sont entretoisées par quatre IPE 600 en partie courante et par deux PRS 900 sur appuis. Les poutres principales d'une longueur de 37,338 m et d'un poids de 32 t ont été mises en place à l'aide d'une grue mobile avant soudage en place des entretoises (figure 4 et photo 12).

L'entreprise Dodin réalise également deux autres ouvrages mixtes sur le chantier de l'A66 (le PI 019 d'une longueur de 61 m et le PI 228 d'une longueur de 126 m) avec un hourdis béton sensiblement identique. Ainsi l'entreprise a fait le choix de réaliser tous les tabliers en place avec deux équipages mobiles pour les trois ouvrages. Ces équipages permettent de réaliser des plots de bétonnage de 12,2 m maximum.

Pour cet ouvrage, le bétonnage a été réalisé en trois plots avec un équipage mobile et avec des coffrages spéciaux pour réaliser les parties biaisées proches des culées.

Les armatures ont été mises en place dans le coffrage de l'équipage mobile. Ainsi un plot est réalisé en 4 jours.

L'ouvrage terminé permettait alors la circulation des engins de terrassement pour terminer la liaison avec l'A61.

Cet ouvrage a également permis à un étudiant de

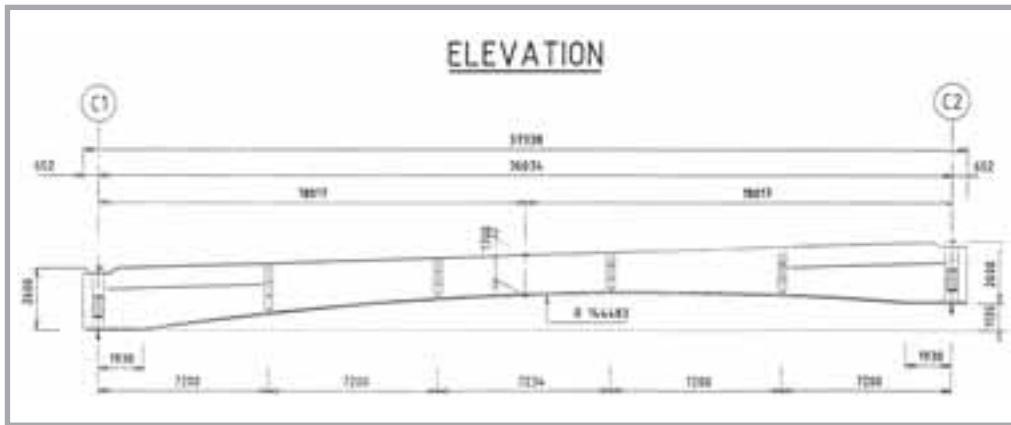


Figure 4
Ossature métallique du franchissement du canal du Midi

Structural steelwork of Canal du Midi crossing



Photo 12
Ossature métallique et bétonnage du franchissement du canal du Midi

Structural steelwork and concreting of Canal du Midi crossing

Figure 5
Coupes transversales du viaduc sur l'Hers

Cross sections of viaduct over the Hers

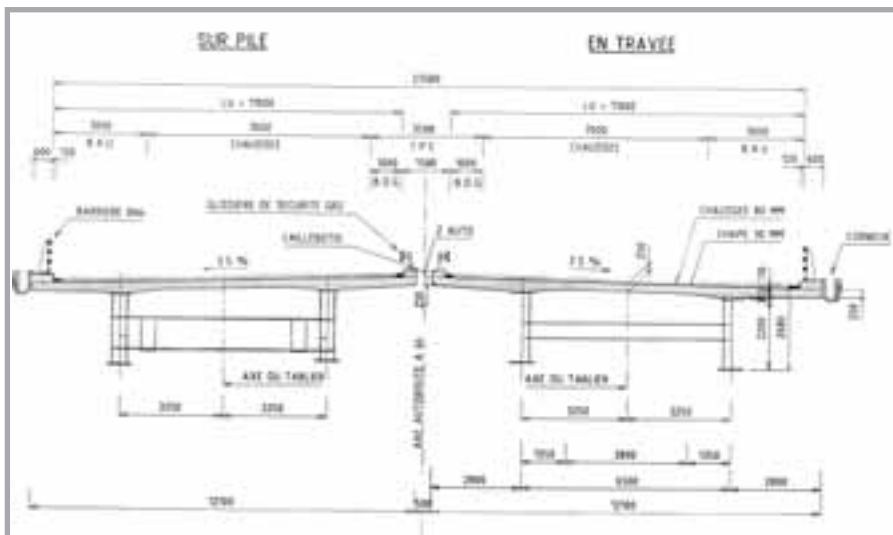


Photo 13
Coffrage du chevêtre sur le viaduc de l'Hers

Shuttering of header on Hers viaduct



BTS Travaux Publics de réaliser une étude au cours de son stage dans l'entreprise Coffrin sur la conception et la fabrication des coffrages spéciaux permettant le coffrage du tablier près des culées.

L'ouvrage sur l'Hers PI 228

Le viaduc de l'Hers est l'ouvrage d'art le plus important du chantier de l'A66 et sépare les deux TOARC.

L'ouvrage est également composé de deux tabliers de 12,1 m de large et distants de 0,5 m. Sa longueur est de 122 m avec trois travées de 34 m - 54 m - 34 m. L'ouvrage est un ouvrage mixte de type bipoutre et hourdis en béton (figure 5).

Une des piles est en rivière et est réalisée dans un batardeau de palplanches. Les piles sont cylindriques de diamètre 3 m et sont réalisées en plusieurs levées avec un coffrage spécial en bois reposant sur un platelage et des tours d'étalement. Le chevêtre est réalisé sur le même principe avec un autre coffrage bois spécial. Les coffrages bois ont été réalisés par l'entreprise Coffrin (photo 13). L'ossature métallique est réalisée par l'entreprise Eiffel. Elle est constituée de deux poutres principales PRS de 2,20 m de hauteur entretoisées par 15 IPE 600 en parties courantes, par deux PRS 1000 sur piles et par deux PRS 800 sur culées.

La méthode de mise en place des poutres retenue par l'entreprise Eiffel est la mise en place par lancement.

Des fouilles archéologiques à l'arrière de la culée C0 ne permettaient pas de monter l'ensemble de la structure sur la plate-forme. Il a fallu lancer l'ossature en deux phases.

La longueur totale de 122 m a été scindée en cinq tronçons permettant un transport plus aisé. Les poutres sont transportées par paires par camions spéciaux, puis posées sur des camarteaux pour réaliser l'assemblage. La structure est ensuite posée sur des chaises de lancement à patin de glissement. Les piles et culées sont également équipées de ces chaises.

L'ossature est lancée avec un avant-bec de 18 m qui facilitait le passage de la travée de 54 m.

Le dispositif de traction est un treuil fixé sur la culée C0 avec une poulie de retour sur la pile P1 (photo 14).

Les armatures du tablier sont préfabriquées à l'arrière de la culée C3 par plots de 12 m ou 24 m, puis lancées à l'aide de treuils et de chariots circulant entre les goujons des poutres métalliques. Les cages d'armatures sont ensuite posées à l'aide de cric à leur emplacement définitif.

Les cages sont reliées entre elles par des éclisses en recouvrement inférieur et supérieur. Les armatures sont lancées avant la présence de l'équipage mobile.

Le bétonnage du tablier peut alors commencer en dix plots de 12,2 m en commençant en travée



Photo 14
Viaduc de l'Hers : lancement du tablier aval, assemblage du tablier amont

Hers viaduct : launching of downstream deck, assembly of upstream deck



Photo 15
Viaduc de l'Hers : bétonnage d'un plot

Hers viaduct : concreting of post

et en terminant par les appuis. Les plots sont bétonnés avec un équipage mobile qui réalise un plot tous les deux jours. Une dénivellation d'appuis de 330 mm a été mise en place sur les piles P1 et P2 lors du lancement de l'ossature métallique puis enlevée après le bétonnage du tablier pour comprimer le hourdis en béton (photo 15).

PARTENARIAT

Les travaux de l'autoroute A66 ont fait l'objet d'un accord de partenariat entre les **Auto-roues du Sud de la France** et le **lycée du BTP de Castelnaudary**. Un projet autoroutier de cette envergure et de cette diversité permet aux élèves de voir les principales techniques rencontrées dans le BTP. Cet accord a permis de faire participer un grand nombre d'élèves de niveaux différents (seconde, baccalauréat STI génie civil, BTS Travaux Publics).

L'importance des travaux sur ce chantier a permis à plusieurs étudiants de BTS Travaux Publics de réaliser leurs stages dans des entreprises travaillant sur l'A66.

Cet article présente les travaux de l'A66, ainsi que les actions menées dans le cadre de ce partenariat.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur du tracé : 39,1 km
- Terrassements : 6,7 millions de m³ déplacés
- Chaussées : 600 000 t d'enrobés

Ouvrages d'art courants

- 23 PS routiers
- 4 PI routiers
- 16 ouvrages hydrauliques
- 6 passages agricole + faune

Ouvrages d'art non courants

- Deux ponts poussés pour la bifurcation A61/A66
- Franchissement du canal du Midi (36 m)
- Viaduc de l'Hers (122 m)

Planning

- Déclaration d'utilité publique en 1996
- Début des travaux en juin 1999
- Mise en service au printemps 2002

Coûts

1,9 milliard de francs soit 290 millions d'euros dont foncier (6 %), études et direction des travaux (11 %), archéologie et déviation des réseaux (5 %), terrassements et assainissements (35 %), ouvrages d'art (15 %), chaussées (11 %), équipements de sécurité (6 %), bâtiments et équipements (3 %), plantations (2 %), environnement (6 %)

Figure 6
Plan
de la bifurcation
A61/A66

Plan
of A61/A66
junction

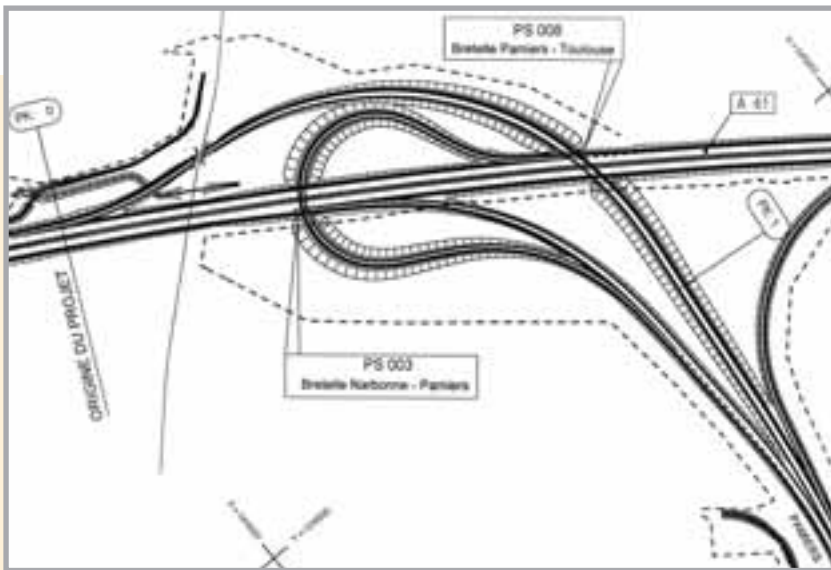


Figure 7
Réalisation
du PS 003

Overpass 003

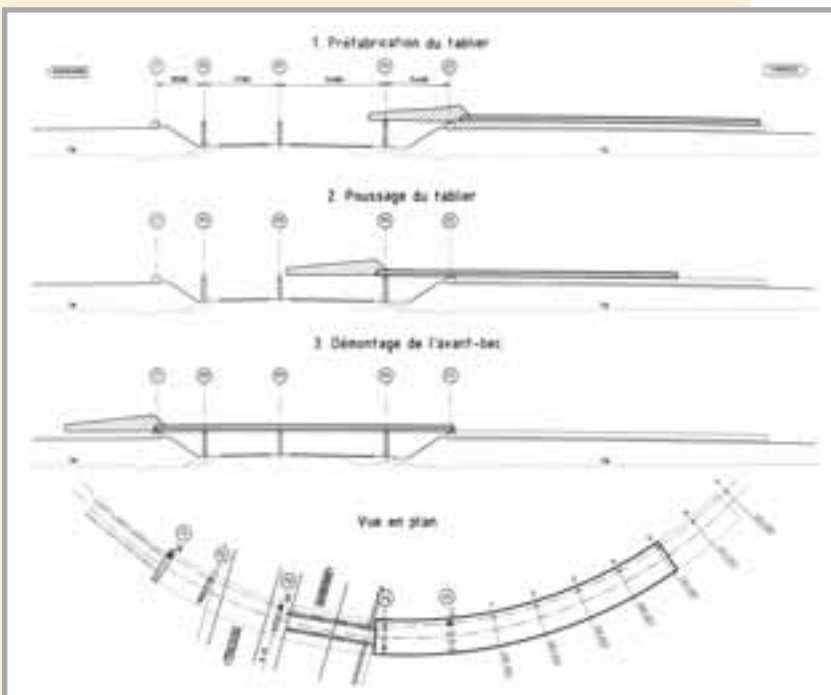
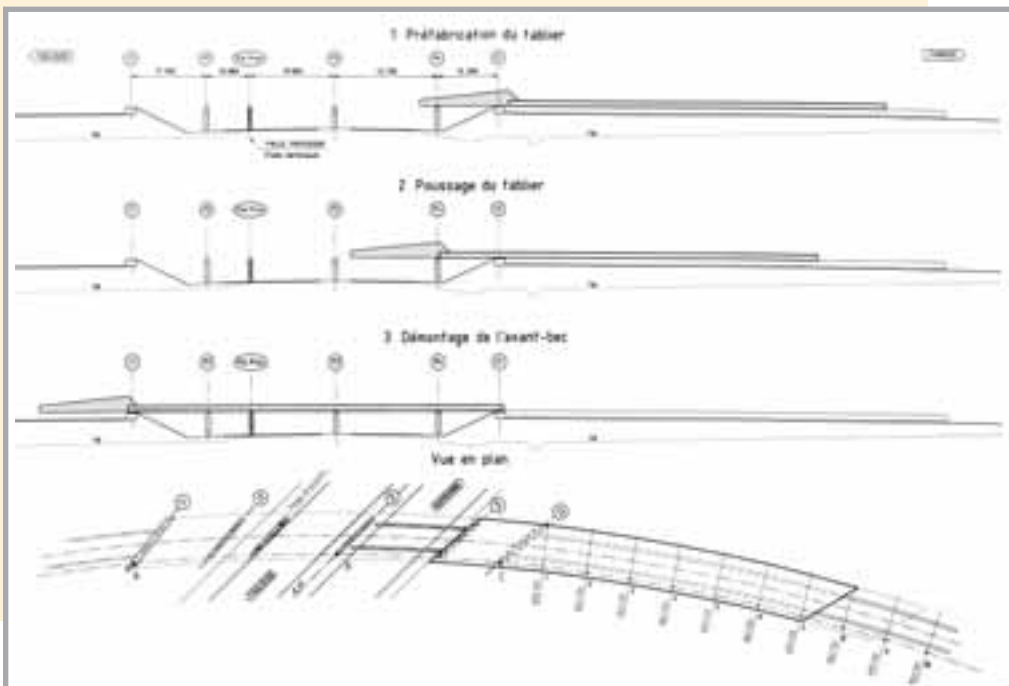


Figure 8
Réalisation
du PS 008

Overpass 008



Les ponts poussés pour la bifurcation A61-A66

Ces deux ouvrages permettent de réaliser la bifurcation de la nouvelle autoroute A66 et l'A61. Le PS 003 permet de réaliser la bretelle Narbonne-Pamiers et le PS008 permet de réaliser la bretelle Pamiers-Toulouse (figure 6).

Ces deux ouvrages ont fait l'objet d'un marché séparé, et ont été réalisés par l'entreprise Maia Sonnier pour la réalisation du génie civil et par Freyssinet pour le poussage et la précontrainte. Les travaux de ces deux ouvrages se sont étalés de novembre 1999 à août 2000.

La principale contrainte d'exécution pour ces travaux est que l'A61 est toujours en circulation, ainsi :

- ◆ des voies seront neutralisées pour réaliser les appuis ;
- ◆ le poussage des tabliers sera réalisé avec des basculements de circulation afin que l'avant-bec ne soit jamais au-dessus des chaussées en circulation.

Caractéristiques principales des ouvrages

Les ouvrages sont de type pont dalle précontrainte mise en œuvre par poussage au-dessus de l'autoroute A61 après préfabrication sur les remblais d'accès.

Le PS 003 est un ouvrage de 66 m à quatre travées de 10,5 m - 17,1 m - 24,00 m - 14,4 m. L'ouvrage a un rayon de courbure de 100,00 m et un dévers moyen de 6 %. La largeur totale du tablier est de 7,70 m pour une largeur roulable de 5,50 m. L'épaisseur du tablier est de 1,05 m, ce qui fait une masse totale de l'ouvrage de 1250 t. Les appuis n'ont pas de biais par rapport au tablier et sont donc rayonnants (figure 7).

Le PS 008 est un ouvrage de 84,6 m à quatre travées de 17,5 m - 29,5 m - 23,50 m - 14,1 m. L'ouvrage a un rayon de courbure de 425,00 m et un dévers moyen de 3,9 %. La largeur totale du tablier est de 10,70 m pour une largeur roulable de 8,50 m. L'épaisseur du tablier est de 1,20 m, soit une masse totale de 2520 t. L'ouvrage a un biais de 150 gr avec l'axe de l'A61 (figure 8).

Les différentes étapes de réalisation

La première étape consiste à réaliser les remblais d'accès aux ouvrages qui sont sur des sols supports compressibles. Ils ont été réalisés par l'entreprise GTM mandataire du TOARC 1. Ces remblais ont nécessité la mise en œuvre d'un réseau de drains verticaux et d'une couche drainante comprenant un géotextile à l'interface sol support/remblais.

Les remblais sont ensuite réalisés avec des matériaux fins issus du TOARC 1 traités à la chaux (1 %). Les travaux sur la plate-forme ne peuvent commencer qu'après un délai de 3 mois permet-

tant la consolidation des sols supports (photo 16). L'entreprise pouvait ensuite réaliser les piles P3 des deux ouvrages se trouvant dans le terre-plein central de l'A61. Ceci est réalisé en neutralisant les voies rapides de l'A61 sur 900 m pour aménager un espace de travail. Les piles sont fondées sur des pieux de diamètre 1200. Les terrassements des fouilles sont faits à l'abri d'un blindage. Les fûts de piles sont de conception architecturale semblable aux ouvrages courants de l'A66.

Ensuite on rétablit la circulation sur les voies rapides pour neutraliser les bandes d'arrêt d'urgence, pour réaliser les plates-formes d'élargissement, puis les appuis C1, P2, P4, C5 des deux ouvrages (photo 17).

En parallèle, la construction des bancs de passage peut commencer. Les aires de préfabrication se situent au sud de l'A61, côté A66.

Les tabliers sont préfabriqués sur des longrines qui permettent le poussage des tabliers.

Ces longrines d'une largeur de 0,50 reposent sur des semelles de 1,3 m, reposant elles-mêmes sur les remblais d'accès avec une contrainte inférieure à 0,2 MPa. Sur ces longrines sont fixés des rails type SNCF cintrés suivant la courbure en plan des ouvrages. L'entraxe des rails est de 3,05 m pour le PS 003 et de 5,44 pour le PS 008.

La préfabrication des tabliers peut alors commencer en confectionnant les coffrages autour des longrines. Ces coffrages sont réalisés en contreplaqué baké et madriers reposant sur des HEB. Les HEB reposent sur les semelles des longrines par l'intermédiaire de décintreurs ou fusibles.

Les deux tabliers sont en dévers, il a donc été nécessaire d'aménager des zones de glissement sous les tabliers, en fabriquant des plats de 0,75 m de large. Les encorbellements sont réalisés avec des coffrages spéciaux (figure 9 et photo 18).

Les armatures sont mises en place dans le coffrage. La présence d'une double précontrainte (câbles de service et câbles de poussage) rend difficile la mise en place des armatures aux abouts de l'ouvrage.

Les bétonnages des tabliers sont réalisés en une seule journée. Ainsi les 1 000 m³ du PS 008 ont nécessité la présence de deux pompes à béton assurant chacune une production de 60 m³/h.

La mise en précontrainte du tablier débute lorsque le béton du tablier a une résistance de 40 MPa.

Le système de précontrainte est Freyssinet-Système C, les câbles sont du type 19T15S.

La première phase de précontrainte est la suivante :

- ◆ mise en tension des câbles de service nécessaires au poussage (neuf câbles sur douze pour le PS 008 et six câbles sur sept pour le PS 003) ;
- ◆ mise en tension des câbles antagonistes et des câbles droits nécessaires au poussage (13 câbles pour le PS 008 et 10 câbles pour le PS 003).

La précontrainte réalisée, on peut procéder au dé-



Photo 16
Le début des remblais de la bifurcation
Start of cuttings at junction



Photo 17
Pile P3 du PS 003 terminée, fondations pile P2
Pier P3 of overpass 003 completed, foundations of pier P2

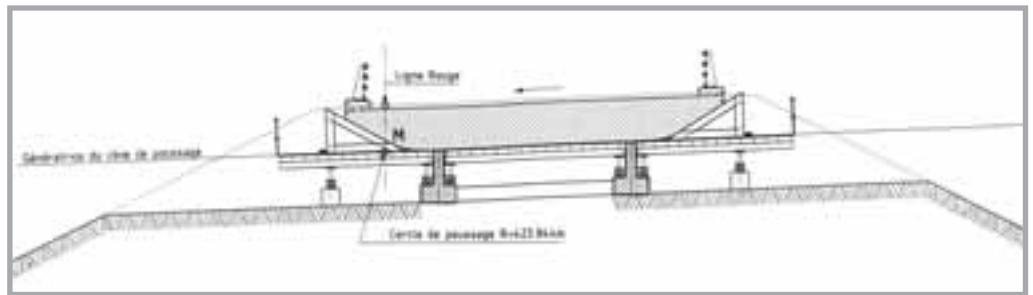


Figure 9
Dispositifs de préfabrication
Prefabrication system



Photo 18
Coffrage des tabliers
Deck shuttering

coffrage du tablier et au vérinage du tablier sur une hauteur de 30 mm pour la mise en place des patins de glissement.

Le vérinage est effectué à l'aide de vérins de 250 t maxi en prenant appuis sur des semelles de vérinage spécialement aménagées dans le banc de poussage. Le vérinage est effectué en cinq points pour le PS 003 et huit points pour le PS 008.

Le glissement du tablier sur les rails est assuré par des plaques en acier revêtues de Téflon®. Les plaques, d'une longueur de 0,50 m, sont reliées

Photo 19
Dispositif
de poussage
du PS 008
*Pushing system
for overpass 008*



Photo 20
Avant-bec et palée
provisoire du PS 008
*Nose and temporary
bent of overpass 008*



Photo 21
Le PS 008
en cours de poussage
*Overpass 008
during pushing*



▶ entre elles par des tiges filetées pour former un train de plaques sur la longueur du tablier. Le poussage peut alors commencer. Il est assuré par deux vérins (2 x 50 t pour le PS 003 et 2 x 100 t pour le PS 008) prenant appui, d'un côté sur l'arrière du tablier et de l'autre sur un sabot immobilisé soit par le rail (pour le PS 003) soit par la longrine (pour le PS 008). La course des vérins est de 400 mm ce qui permet de pousser le tablier à la vitesse de 3 m/h (photo 19).

Les vérins sont alimentés par un pupitre de commande qui permet d'actionner les vérins à des vitesses différentes, ce qui est nécessaire pour effectuer le poussage d'un ouvrage courbe.

Lors du poussage, chaque tablier est équipé d'un avant-bec métallique d'une longueur de 25 m et d'une portée utile de 20 m. Cet avant-bec, spécialement conçu pour ces deux ouvrages, est constitué de trois tronçons principaux de 7 m, d'une rallonge de 3 m et d'une pièce de liaison au tablier de 1 m. Pour inverser les rayons de courbures entre les deux ouvrages, il a été mis en place des fourrures d'épaisseurs différentes entre les divers tronçons. Les liaisons entre tronçons sont réalisées par des boulons H.R (photo 20).

Le glissement du tablier sur les appuis est assuré par des selles de glissement en inox fixées sur les appuis et par des plaques en Téflon® introduites manuellement sous le tablier au fur et à mesure de l'avancement.

Au niveau des selles de glissement, l'avant-bec est guidé transversalement par mesure de sécurité.

Pour le PS 008, il a été nécessaire de mettre en œuvre une palée provisoire entre P1 et P2 à 10 m de P1 afin de faciliter le passage de la plus grande travée de 29,5 m (photo 21).

Le poussage terminé, on procède alors au démontage de l'avant-bec et de la palée provisoire (pour le PS 008).

La seconde phase de précontrainte est alors réalisée :

- ◆ détection des câbles de poussage ;
- ◆ mise en tension de la seconde partie des câbles de service.

L'ouvrage est ensuite vériné sur une hauteur de 20 mm pour retirer les selles de glissement, puis est descendu à son niveau définitif. La pose des appareils d'appui en élastomère fretté se fait alors que l'ouvrage est sur vérins. Le bossage supérieur est réalisé par matage entre la sous-face du tablier et une tôle disposée sur l'appareil d'appui.

Le poussage du PS 003 a également permis à un étudiant de BTS Travaux Public du lycée Andréosy de vivre une expérience "impressionnante" lors de son stage dans l'entreprise Freyssinet.

■ LES TRAVAUX DE CHAUSSÉES

Les marchés ont été attribués à l'entreprise Routière Morin pour le lot 1 et aux entreprises Lefoll-Malet pour le lot 2.

La chaussée est constituée, d'une couche de réglage en GNT 0/20 de 10 cm, d'une couche de fondation en grave bitume 0/14 de 10 cm, d'une couche de base en grave bitume 0/14 de 9 cm et d'une couche de roulement en béton bitumineux 0/14 de 7 cm.

La couche de réglage est réglée avec une niveleuse robotisée et guidée par une station totale



Photo 22
Mise en œuvre de la couche de fondation
Placing of base course

motorisée qui permet d'atteindre la tolérance inférieure à 1 cm et à une cadence de 8 000 m²/j. Les enrobés sont réalisés avec une centrale par lot qui sont montées sur les futures aires de repos de Mazères.

Les enrobés sont appliqués avec un finisseur et un alimentateur à une cadence de 1 200 m/j et en une seule largeur de 8,00 m.

Ces travaux de chaussée vont se terminer à la fin de l'année 2001, et ainsi permettre l'ouverture de la nouvelle autoroute A66 pour le printemps 2002 (photo 22).

■ CONCLUSION

Ces deux ans et demi de travaux se sont déroulés conformément aux prévisions et dans une atmosphère générale exceptionnelle. Cette très bonne ambiance s'est ressentie dans les relations entre les professionnels de ce chantier et les élèves du lycée Andréossy, ce qui a permis de créer ou de confirmer les vocations vers ces métiers passionnants des travaux publics.

Le lycée Andréossy profite de cet article pour remercier la direction opérationnelle de Toulouse qui a permis de nombreuses visites de chantier et a su être à notre écoute. Nous remercions également toute l'équipe Travaux de Scetauroute qui a toujours été ouverte et disponible pour répondre à nos interrogations, nous transmettant ainsi des sommes considérables d'informations.

Pour certains élèves du lycée Andréossy, ce chantier a permis de réaliser des stages en entreprises très intéressants qui ont depuis, débouché sur des emplois.

ABSTRACT

The A66 motorway : Toulouse-Pamiers

C. Reynes, J.-M. Castel, E. Marchisone, H. Pillier

The works on the A66 motorway are changing colour. After the earthworks comes the pavement construction period. The supply of aggregates for pavement construction is over : on the location of the future Mazères rest area, the asphalt mixing plants have been in operation since the month of July and will continue producing until the end of 2001. During this period, the carriageways, the junctions, the branches onto the A61 and the connections will be completed.

As these works progress, the various appurtenances are put in place. The fencing and landscaping works are in progress, from Pamiers to the A61. Ducting is also ready to receive an optical fibre network. Soon the installations of the last elements will begin : toll plazas, safety barriers, signing, etc. Everything is on schedule, as regards technical management and completion times. In 6 months – 8 months at most – this new motorway will be commissioned (spring of 2002).

This project is new in many respects. It is the first to provide access in and out of the lower Ariège region.

Another novelty of the A66 is how it fits into the landscape. Great care has been given to compliance with environmental and conservation requirements in the areas crossed. Curves, counter-curves, valleys - the motorway follows all the characteristics of the Tuscan relief on Lauragais hills and the panorama of the Ariège plain facing the Pyrenees.

For all these reasons, and also because the works are moving ahead perfectly, this A66 project is a source of great satisfaction.

RESUMEN ESPAÑOL

La autopista A66 : Toulouse-Pamiers

C. Reynes, J.-M. Castel, E. Marchisone y H. Pillier

Las obras de la autopista A66 cambian de tono. A continuación de los movimientos de tierras, sucede el período de implementación de los pavimentos.

El aprovisionamiento de los áridos para su fabricación ha dado ya fin : en el emplazamiento de la futura área de descanso de Mazères, las centrales de producción del aglomerado se encuentran ya en funcionamiento desde el mes de julio y proseguirán su actividad hasta finales del año 2001. Durante este período, la sección corriente, los enlaces y las bifurcaciones en la A61 y las conexiones serán ejecutados.

A medida que estos trabajos vayan avanzando, se instalarán los equipos correspondientes.

De este modo, los trabajos de vallados y los acondicionamientos del paisaje se encuentran en curso, ascendiendo desde Pamiers hasta la autopista A61. Los conductos se encuentran ya en condiciones de recibir una red de fibras ópticas. Dentro de breve plazo, se dará comienzo a las instalaciones de los últimos acondicionamientos : estaciones de peaje, vallas de seguridad, señalización, etc. Todo ello guarda conformidad con las previsiones, tanto para la gestión técnica como para los plazos impartidos.

Por todo ello, dentro de seis meses - ocho meses como máximo- esta nueva autopista se podrá inaugurar durante la primavera de 2002.

El calificativo de "nueva" se lo merece por múltiples aspectos. Se trata de la primera que habrá de desenclavar el bajo Ariège.

Otra novedad de la A66 consiste en saber inscribirse en un paisaje siguiendo sus formas, o sea integrándose a él. Se ha puesto una atención constante acerca del respeto del medio ambiente y del territorio atravesado. Curvas, contracurvas, ondulaciones del terreno, esta autopista sigue todas las características del modelado toscano de las colinas del Lauragais y del panorama de la planicie del Ariège, frente a los Pirineos.

Por todos estos motivos, y también debido a que las obras progresan perfectamente, la construcción de la A66 procura a una gran satisfacción.

A66 – Toulouse - Section Montesquieu -

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le chantier de l'A66 Toulouse-Pamiers, section Montesquieu-Lauragais-Mazères y compris la bifurcation de raccordement A66/A61 s'étend sur un linéaire de 23 km environ et concerne dix communes (Saint-Rome, Montesquieu-Lauragais, Vieille Vigne, Nailloux, Aignes, Montgeard, Calmont, Monestrol, Gibel et Mazères) dans les départements de la Haute-Garonne et de l'Ariège.

Description générale

Terrassement

- ◆ 23 km d'autoroute avec préparations, déblais/remblais, arase et couche de forme;
- ◆ 23 km de rétablissements avec préparations, déblais/remblais et arase;
- ◆ 5 000 000 m³ de déblais;

- ◆ 3 500 000 m³ de remblais traités à 1 % de chaux minimum;
- ◆ profils mixtes et/ou décaissement d'assises remblais sur 9 km;
- ◆ chaux 56 000 t;
- ◆ drains verticaux 80 km;
- ◆ matériaux d'apport : 600 000 m³ (couche de forme, base drainante et remblai de purges).

Ouvrages d'art

- ◆ 11 passages supérieurs;
- ◆ 21 passages inférieurs;
- ◆ 1 ouvrage lié à l'échangeur de Nailloux;
- ◆ 14 rétablissements routiers;
- ◆ 1 passage piétons;
- ◆ 2 passages faunes spécifiques;
- ◆ 3 passages agricoles dont un bovin et un faune.

Rétablissements

- ◆ 11 rétablissements hydrauliques spécifiques de voiries sur trente sites différents.

Assainissement

- ◆ 23 km d'autoroute;
- ◆ 23 km de rétablissements;
- ◆ rescindement des cours d'eau;
- ◆ 30 bassins de type rétention d'eaux pluviales;
- ◆ 20 km de drains profonds Ø 160;
- ◆ 3 500 ml de buse béton Ø 400 à 1 800;
- ◆ 750 ml de buse métallique Ø 800 à 2 000.

■ CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Ce tracé traverse des unités géomorphologiques aux caractères contrastés. Il recoupe ainsi depuis le nord :

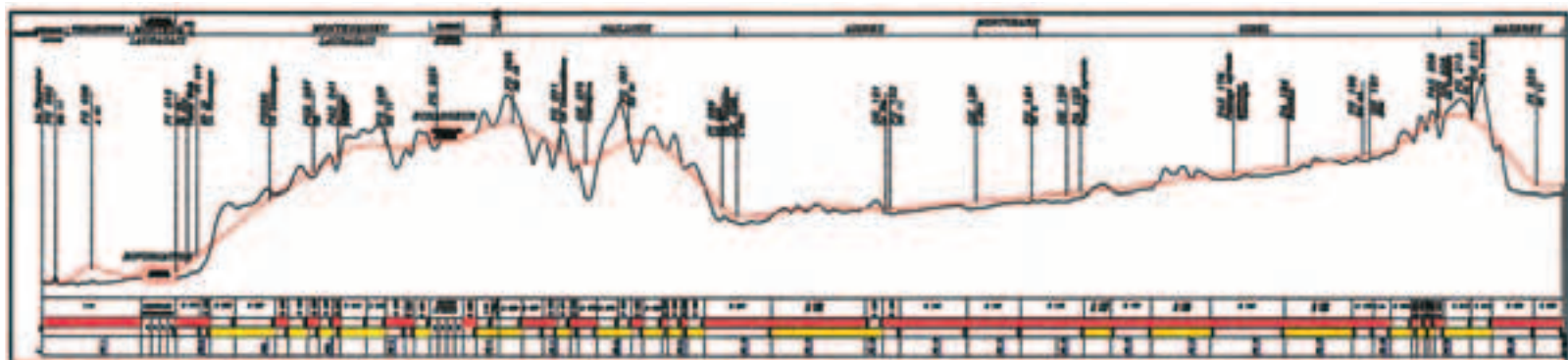
- ◆ la vallée de l'Hers Mort constituée par ses alluvions limono-sableuses;

Atelier traitement de chaux. Géotextile drainant en base de remblai
Lime treatment plant. Drainage geotextile at base of embankment



© ASF/Yann Collet

Figure 1
Profil en long
Longitudinal section



Pamiers - TOARC1 Lauragais - Mazères

- ◆ les coteaux molassiques du Lauragais caractérisés par des sols argileux en couverture puis par des marnes et lentilles sableuses entrecoupées par de nombreux bancs rocheux grésocalcaires ;
- ◆ la vallée de l'Aïse recoupée longitudinale formée d'alluvions argileuses hétérogènes ;
- ◆ les coteaux molassiques dits "de la Taverne" présentant des caractéristiques proches de ceux du Lauragais en intégrant d'anciens glissements fossiles ;
- ◆ la vallée de l'Ariège constituée de grave alluvionnaire.

Le chantier se compose donc par une succession de déblai-remblai de grande hauteur dans les coteaux du Lauragais (PK 0-10) puis essentiellement par des remblais rasants dans la vallée de l'Aïse compressibles (PK 10-20) et enfin par plusieurs passages déblai-remblai débouchant dans la plaine de l'Ariège (PK 20-23).

■ CARACTÉRISTIQUES

Le profil en long est décrit sur la figure 1.

Le profil en travers type avec partie supérieure des terrassements (PST) de 70 cm traitée à la chaux est reporté figure 2.

■ RÉALISATION

Réalisation

Comme dans la plupart des chantiers linéaires de terrassement, la réussite repose sur la bonne

adaptation du projet aux matériaux rencontrés dans les déblais. Rapidement il apparaît que l'équilibre tendu du mouvement des terres et la grande hétérogénéité des déblais conduisent à une gestion "pointue" des matériaux de déblais. Cette situation a conduit l'entreprise à généraliser toutes les méthodes conduisant à une réutilisation maximale des matériaux :

- ◆ ripage lourd (D10) en lieu et place du minage de dalles de marnes indurées ;
- ◆ stockage provisoire et reprises ;
- ◆ aération ou humidification ;
- ◆ traitement à la chaux et malaxage du pulvimixeur.

Dispositions constructives

Les assises de remblais sont principalement constituées de sols compressibles (franchissement de talweg ou vallée de l'Aïse). En plus, des sondages à la pelle réalisés dans le cadre des reconnaissances complémentaires, une campagne de sondages au pénétromètre dynamique a été menée pour délimiter les zones compressibles. Des techniques particulières ont donc été mises en place pour consolider le sol support :

- ◆ remblais de grande hauteur (de 4 à 22 m) :
 - mise en œuvre d'une base drainante constituée de grave alluvionnaire (1 m),
 - réalisation de drains verticaux ancrés au substratum avec un maillage triangulaire de 1 à 2 m ;
- ◆ remblais rasants :
 - mise en œuvre d'une base drainante en grave (0,50 m) ou d'un géotextile drainant,
 - mise en place d'une surcharge temporaire au ni-

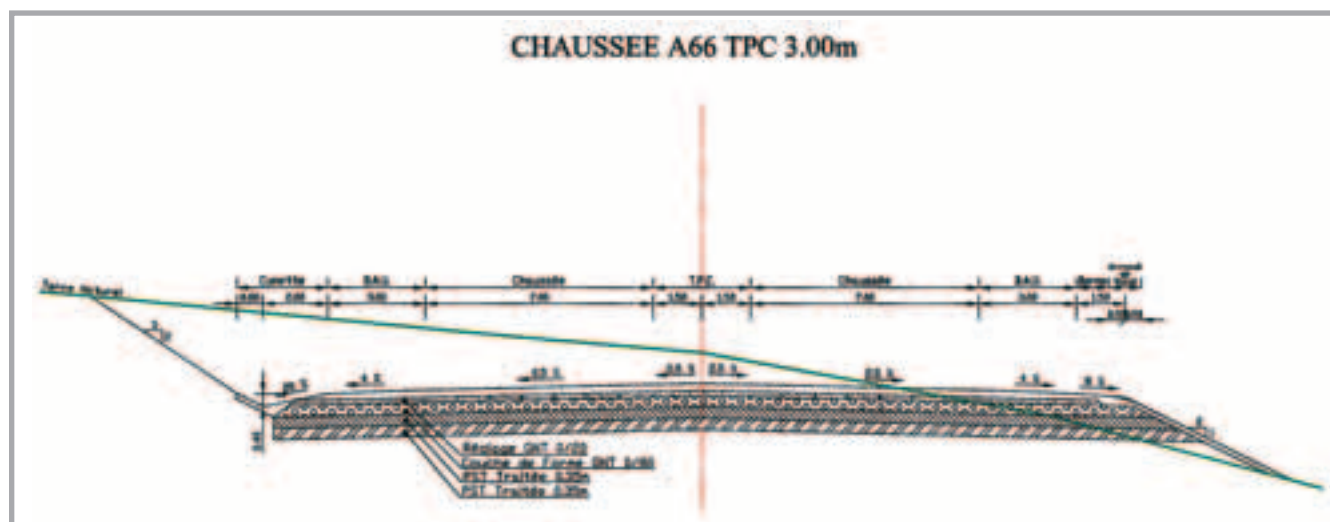


Figure 2
Profil
en travers type
Typical
cross section



veau de l'arase terrassement d'environ 1,70 m de hauteur.

L'ensemble des remblais situés dans ces zones compressibles a fait l'objet d'une instrumentation spécifique pour suivre l'évolution des terrassements et de la consolidation des ouvrages pendant les travaux de terrassement.

Mode d'extraction

La majorité des matériaux sont des sols meubles, seules les dalles "gréseuses" nécessiteront un ripage lourd pour l'extraction.

La répartition très aléatoire des différents horizons rencontrés, oblige un tri des matériaux pour une réalisation optimale en remblai. Une fragmentation mécanique (*tamping*) est utilisée pour faire évoluer le matériau extrait en sol fin et ainsi le mettre en œuvre avec la granulométrie souhaitée.

Déblai de Millet

Situé dans le secteur de la Taverne, cet ouvrage d'une hauteur proche de 25 m traverse un ancien glissement fossile imposant un dispositif confortatif en cours de travaux et modifiant le projet du marché :

- ◆ purge totale des sols instables ;
- ◆ réalisation d'un masque poids en grave alluvionnaire ;
- ◆ mise en place d'un drainage en pied de talus ;
- ◆ pose d'inclinomètres pour suivre les déplacements du talus.

Remblai

La valorisation des matériaux pour l'utilisation en remblai, a conduit principalement à traiter les sols à la chaux avec un dosage de 1 % dans le but d'améliorer les caractéristiques géomécaniques et d'assurer un comportement satisfaisant à long terme. Pour les remblais de grande hauteur, la géométrie de ces ouvrages prévoit une disposition dite "en noyau" dans laquelle la partie située sous la chaussée est entièrement traitée et les épaulements sont en sol non-traité. La pente des talus est à 2/1 et un traitement de la base de remblai est réalisé sur toute la largeur, avec sur certains ouvrages des banquettes de stabilité. Sur l'ensemble du tracé, la PST est égale à 0,70 m de matériau traité et la couche de forme est constituée en grave alluvionnaire de 0,35 m d'épaisseur.

Pour les remblais sur sol compressible les profils en travers types intègrent le tassement théorique prévu à l'étude.

DISPOSITIONS DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Gestion des eaux

Sur une longueur de 23 km d'autoroute, l'entreprise a rencontré trois cours d'eau d'importance non négligeable :

- ◆ la Thésauque au nord ;
- ◆ l'Aïse sur 10 km ;
- ◆ l'Hers Vif au sud,
- ◆ le canal du Midi classé patrimoine mondial de l'Unesco.

Terrassements généraux dans les coteaux du Lauragais
General earthworks in the Lauragais hills



© ASF/Yann Collet

Cette instrumentation a répondu à trois objectifs principaux :

- ◆ vérifier la stabilité des remblais dits "de grande hauteur" pendant la construction ;
- ◆ suivre les vitesses de consolidation du sol pour vérifier l'efficacité des surcharges et optimiser leurs temps d'application ;
- ◆ suivre la consolidation des plots de préchargement des ouvrages pour minimiser les risques de tassement différentiel.

Suivant les cas, différents moyens de mesure et d'interprétation ont été utilisés :

- ◆ suivi topographique (nivellement) ;
- ◆ mesures de tassement :
 - tassomètre hydraulique,
 - tassomètre multipoint ;
- ◆ mesures de pression interstitielle :
 - piézomètre à contre-pression pneumatique,
 - piézomètre électrique ;
- ◆ mesures de pression totale.

Les mesures régulières ont permis d'évaluer le tassement primaire, et l'interprétation par la méthode d'Asaoka ou de fluage en a déduit le tassement résiduel des ouvrages.

Réalisation des déblais

Les déblais peuvent avoir des hauteurs relativement importantes, parfois proches de 30 m. Les pentes des talus à 3/1 assurent la stabilité générale, cependant localement, des parements drainants sont réalisés au niveau des poches sableuses et la pose de toile de jute est nécessaire pour limiter l'érosion.

La présence presque permanente de ces différents cours d'eau implique des dispositions particulières pendant les travaux dans ces zones sensibles. Lors des dérivations des cours d'eau, le projet est étudié afin de restituer au maximum les méandres décrits par la rivière à l'état naturel.

Les berges de ces cours d'eau sont protégées par des dispositifs provisoires (toile de jute) pour limiter l'érosion pendant les pluies et pour faciliter l'implantation de la végétalisation sur les berges.

Pour les passages provisoires sur les cours d'eau, les buses sont dimensionnées pour une crue bi-annuelle (2 ans). Ce qui implique comme ici, sur la Thésauque au PK 1,9 en bordure de la RD 16, quatre buses de Ø 1 500 mm.

La présence de ces écoulements implique aussi pendant les travaux des contraintes lors des événements pluvieux. Pour éviter de polluer les cours d'eau par l'apport de fines ou de sables par les eaux de ruissellement, des bassins de décantation provisoires ont été créés tout au long du chantier. Les matières en suspension s'y déposent avant rejet de l'eau vers le milieu naturel.

Des filtres à fines en géotextile, tendus sur des cadres en bois et installés à la sortie des bassins améliorent encore le traitement des eaux en retenant les matières en suspension, en plus de la décantation.

Protection des riverains

Pour éviter les nuisances dans les villages de Mazères, Gibel et Nailloux et l'encombrement des voies publiques par des semi-remorques, le groupement GTM Construction - Chantiers Modernes a choisi de mettre en place un pont provisoire sur l'Hers Vif au niveau de Mazères, afin de transporter les matériaux de la carrière de Mazères rive gauche de l'Hers sur le chantier situé en rive droite.

Protection de l'air

Pour la réutilisation des matériaux en remblai, il faut les traiter à la chaux vive afin qu'ils ne soient plus sensibles à l'eau. Cette opération induit la manipulation de quantités importantes de chaux (50 000 t), matériau pulvérulent et corrosif, pouvant engendrer des pollutions des cours d'eau par augmentation de leur alcalinité, ou des brûlures de végétaux et de cultures.

Remplis de chaux par air comprimé à partir de transporteur ou de citerne fixe, des épandeurs répartissent la chaux sur le sol à traiter. Pour limiter les poussières lors du transfert, des ballons en nylon sont utilisés pour filtrer l'air à la sortie des événements de l'épandeur.

Dans les zones de stockage de chaux, à la place du ballon, l'évent est envoyé dans une fosse recouverte de géotextile servant de filtre.

Lors de l'épandage de la chaux sur le sol, les épan-

deurs sont équipés à l'arrière de bavette rasant le sol, limitant ainsi, l'envol de la chaux. Le malaxeur intervient ensuite pour minimiser les surfaces de chaux épandues. Enfin, par vent fort, l'épandage de chaux est proscrit ou est réalisé en déblai, à l'abri du vent.



Bifurcation
A66 - A61

A66-A61
junction

© ASF/Yann Collet

Gestion des déchets

Les travaux de terrassement nécessitent un grand nombre d'engins contenant des quantités importantes de fioul et d'huile. Pour limiter les pollutions en cas d'incident (accidents d'engins, ruptures de flexibles, etc.) tous les chefs d'équipe sur le terrain disposent d'un kit antipollution comprenant un bac de rétention de dix-sept litres, des produits absorbants d'hydrocarbures, des sacs poubelle et des gants. En cas d'incidents, le chef d'équipe peut immédiatement agir et récupérer hydrocarbures déversés et terres polluées.

La réparation et l'entretien des engins génèrent beaucoup de déchets différents. Les déchets industriels spéciaux (D.I.S.) sont triés et évacués séparément par une entreprise spécialisée afin d'être retraités : huiles usagées, filtres à huile, liquide de refroidissement, batteries, flexibles hydrauliques, papiers et chiffons gras et produits absorbants souillés, emballages d'hydrocarbure.

Les ferrailles sont stockées dans une benne et évacuées régulièrement par un ferrailleur. Les ordures ménagères et les déchets industriels banaux (cartons, bois, papiers) sont évacués par le SIVOM de Nailloux, vers l'usine d'incinération de Toulouse.

Lors des travaux de démolition des habitations situées sur le tracé, les déchets ont été triés et deux bâtiments ont été désamiantés (toiture en plaques de fibrociment) par une entreprise spécialisée : Démolition Delair. Les produits phytosanitaires trouvés dans une exploitation, ont été évacués vers une coopérative agricole organisant une opération de récupération de ces produits afin de les éliminer.

► ■ CONCLUSION

Le cumul d'un projet trop optimisé (35 cm de couche de forme granulaire sur une PST de 70 cm de matériaux du site traités à la chaux pour obtenir une PF2), de matériaux très hétérogènes qui ne régissent pas toujours bien au traitement à la chaux et de conditions météorologiques défavorables pendant la période des terrassements a entraîné de grandes difficultés de réalisation.

Cette situation a conduit l'entreprise à mettre en œuvre des moyens nettement plus importants que ceux qui étaient initialement prévus pour terminer le chantier dans les délais du marché.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Terrassement

- GTM Construction
- Chantiers Modernes
- Muller T.P.

Ouvrages d'art

GTM O.A.

Drainage

- GTM Tetra
- S.T.C.M.

Chaussées

Jean Lefebvre

ABSTRACT

A66 - Toulouse/Pamiers project Phase 1. Montesquieu-Lauragais-Mazères section

Fr. Bouvier, V. Guetaz

The works on the Montesquieu-Lauragais-Mazères section of the Toulouse-Pamiers motorway A66, including the A66/A61 junction, extend over about 23 km and 10 communes (Saint-Rome, Montesquieu-Lauragais, Vieille Vigne, Nailloux, Aignes, Montgeard, Calmont, Monestrol, Gibel and Mazères) in the Haute-Garonne and Ariège regions.

This route passes through geomorphologic units with contrasting characteristics.

The works include a succession of deep cuts and fills in the hills of the Lauragais (PK 0-10), then low, compressible embankments in the Aïse valley (PK 10-20) and finally several cuts and fills in the Ariège plain (PK 20-23).

RESUMEN ESPAÑOL

A66 - Toulouse/Pamiers TOARC1. Sección Montesquieu-Lauragais-Mazères

Fr. Bouvier y V. Guetaz

Las obras de la autopista A66 Toulouse-Pamiers, sección Montesquieu-Lauragais-Mazères e inclusive la bifurcación de enlace A66/A61, se prolonga sobre un recorrido de 23 km, aproximadamente, y atraviesa diez municipios (Saint-Rome, Montesquieu-Lauragais, Vieille Vigne, Nailloux, Aignes, Montgeard, Calmont, Monestrol, Gibel y Mazères), en los departamentos del Alto Garona y del Ariège.

Este trazado atraviesa secciones geomorfológicas cuyos caracteres son contrastados.

Las obras forman una sucesión de desmontes y terraplenes de gran altura, en las colinas del Lauragais (pk 0-10) y acto seguido, y principalmente, por terraplenes rasantes en el valle del Aïse compresibles (pk 10-20) y, finalmente, por varias secciones de desmontes y terraplenes que desembocan en la planicie del Ariège (pk 20.23).

La route des estuaires de l'information

Un réseau de 1400 km de fibres optiques, entre Paris et Hendaye

Le 4 février 2000, l'opérateur scandinave Telia attribuait au groupement Sogea et GTIE, deux sociétés du groupe Vinci, la réalisation en moins de 16 mois de plus de 1400 km de fibres optiques, de Paris à Hendaye, via Rouen, Caen, Rennes, Nantes, Bordeaux et Biarritz. L'entreprise Sogea était chargée du génie civil et GTIE de la pose et du raccordement des câbles ainsi que de la construction et équipement des sites de régénération. Cet article décrit les spécificités du chantier et les différentes phases de son exécution.

■ PRÉSENTATION DU PROJET TELIA

La construction du *backbone* (épine dorsale) d'un montant de plus de 150 millions d'euros, comprenait la réalisation des infrastructures et des équipements jusqu'aux sites de régénération (figure 1). Depuis, un contrat de construction des liaisons POP (Point of Presence) à Rouen, Rennes, Nantes et Bordeaux, et un contrat de maintenance ont également été signés avec Vinci Networks, qui réunit les compétences de Sogea et GTIE dans le domaine des grands projets d'infrastructures de télécommunications et de leur maintenance.

Plus de 1500 salariés des centres de profit de Sogea et des entreprises de GTIE, ont été impliqués dans le projet Telia, coordonnés par une cellule de pilotage. La route des estuaires de l'information a été livrée en juin 2001.

■ LE RÉSEAU VIKING DE TELIA

Après une première liaison Paris - Calais - Strasbourg, la liaison Paris - Hendaye, permettra à Telia de disposer d'une avance sur le réseau ouest, qu'il pourra échanger contre des infrastructures sur des parcours plus classiques. Ce *backbone* est l'un des éléments du réseau paneuropéen Viking (qui aura une longueur finale de 35 000 km fin 2001) dans lequel Telia International Carrier, filiale du groupe scandinave Telia AB, a investi 1,5 milliard d'euros. Son objectif est de se positionner, à l'international, sur le marché du "Carrier to Carrier", afin de devenir l'un des trois premiers acteurs du marché de la vente en gros de capacités de transmission et d'Internet en Europe.

■ SPÉCIFICITÉS DU PROJET

Le chantier de 1400 km a été découpé en tronçons d'environ 80 km. Dès février 2000, plus de 150 personnes de Sogea et GTIE (mobilisées en moins d'un mois), se sont concentrées sur la réalisation de l'APS puis sur l'APD, afin de définir et optimiser le tracé (75 plans et 19 synoptiques), réaliser les quelque 1 200 plans de cheminement (validés par Telia) et obtenir des 500 gestionnaires des collectivités locales traversées la délivrance des

Pierre Anjolas

DIRECTEUR
DU PROJET TELIA
Vinci



Thierry de Séverac

DIRECTEUR GÉNÉRAL
Vinci Networks

Claude Brunier-Coulin

DIRECTEUR GÉNÉRAL
ADJOINT
Vinci Networks



Christophe Duboin-Bidet

RESPONSABLE GÉNIE CIVIL
Vinci Networks

Pierre-Philippe Portejoie

RESPONSABLE POSE
ET RACCORDEMENT CÂBLES
Vinci Networks

Raymond Schuster

RESPONSABLE BÂTIMENTS
TECHNIQUES
Vinci Networks



Figure 1
Carte du réseau installé
Map of installed network

Photo 1
Les fourreaux sont insérés dans la tranchée au fur et à mesure de l'avancée de la trancheuse. Selon les zones, celle-ci progresse à une cadence de 1100 à 2400 m/jour

The ducts are placed in the trench as the trenching machine advances. Depending on the zones, the trencher progresses at a rate of 1100 to 2400 m/day



permissions de voirie. Les responsables de projet se sont chargés de la validation des plans d'avant projet par des visites sur site avec les intervenants concernés. Par ailleurs, pour gagner du temps, Sogea a décidé de privilégier le tracé à la trancheuse et GTIE, la pose de câble par soufflage à l'air. Contrairement aux habitudes, sur ce chantier, l'échelle de temps a été mesurée à la journée, avec une synthèse quotidienne des avancements. Autre particularité : le client a confié un contrat clé en main de conception-construction de 14 bâtiments au groupement Sogea GTIE, qui se retrouve, pour certains volets du travail, dans une logique de maîtrise d'ouvrage déléguée.

La cellule de pilotage

Telia ayant souhaité s'adresser à un interlocuteur unique, une cellule de pilotage a été mise en place. Conception et définition du projet, établissement du tracé, suivi de la conformité de l'APS et de l'APD, obtention des demandes de permission de voirie, élaboration de cahier des charges internes et d'un manuel qualité (définition des caractéristiques et modes opératoires principaux, des exigences du client et de la manière de les satisfaire) : la cellule de pilotage a couvert la maîtrise d'ouvrage déléguée, en organisant, coordonnant, dirigeant et fédérant les différentes entreprises qui, région par région et lot par lot, sont intervenues dans la réalisation du projet. Des responsables GC, PRC,

Etudes, Juridique, Planning, Qualité étaient intégrés à cette cellule, ainsi que dix responsables de projets lesquels, agissant sous l'autorité de la cellule de pilotage, ont été intégrés aux équipes régionales de génie civil et ont établi la liaison avec les conducteurs de travaux.

Le génie civil

Sur ce projet, Sogea s'est organisé en plusieurs structures de terrain pour une meilleure réactivité, selon une organisation de type grand chantier, tout en s'appuyant fortement sur son réseau d'agences locales. L'ensemble du tracé a été divisé en quatre zones principales, pour lesquelles on retrouve à chaque fois, un directeur de travaux, des directeurs de travaux adjoints, des conducteurs de travaux, des adjoints conducteurs de travaux, des chefs de chantiers, des chefs de dépôts et des chargés qualité -, la plupart spécialistes des chantiers de canalisations et autres réseaux enterrés. Des instructions de chantier ont été utilisées pour répondre à des particularités de ce chantier; il appartenait à la cellule de pilotage de faire circuler les informations entre les quatre directions régionales pour s'assurer de la prise en compte immédiate de toute particularité propre à une zone par les autres (cf. encadré "Les quatre zones en détail").

Les principales étapes du génie civil sont les suivantes :

- ◆ réalisation de la tranchée;
- ◆ pose des douze fourreaux, des manchons, du grillage avertisseur et du fil de détection;
- ◆ fermeture de la tranchée et nettoyage des abords;
- ◆ pose des chambres et boîtiers de détection;
- ◆ essais de validation des fourreaux par mandrinage/pression et du fil de détection;
- ◆ essais de réception;
- ◆ réfections de la chaussée.

Les commandes de fournitures (fourreaux, manchons, fil de détection, chambres avec accessoires, grillage) revêtaient une grande importance car en aucun cas le progrès des activités de tranchage ne devait être tributaire de ces fournitures; des dépôts (distants entre eux de 50/100 km) ont donc été créés tout au long des 1400 km pour stocker ces fournitures, tout en les gardant à proximité des lieux de mise en place. En période de pointe, plus de 100 ateliers différents travaillaient le long des 1400 km.

Réalisation de la tranchée d'une profondeur de 0,80 à 1,20 m et mise en place des douze fourreaux et accessoires

Les douze fourreaux sont individualisés par marquage associant des bandes de couleur et des nombres de bandes (photo 1). L'ordre de placement des douze fourreaux individuels est une im-

LES QUATRE ZONES EN DÉTAIL

Zone 1 - Ile-de-France

- 42 km
- 1 responsable de projet

Zone 2 - Nord-Ouest

- 452 km
- 3 responsables de projet

Zone 3 - Centre

- 575 km
- 4 responsables de projet

Zone 4 - Sud-Ouest

- 331 km
- 2 responsables de projet

position du client. Des remorques spéciales étudiées pour loger trois tourets comprenant chacun quatre fourreaux de type différent et de longueur unitaire voisine de 1 100 m étaient présentes à chaque atelier où le tranchage s'effectuait.

Sur les 1 400 km, six différentes techniques ont été utilisées (photos 2, 3 et 4) :

◆ **tranchage mécanisé** : des trancheuses principalement à roue, et plus rarement à chaîne, évoluent sur le tracé avec une motorisation indépendante de la roue ou chaîne (partie coupante); en moyenne, elles ont réalisé entre 350 et 1 250 ml par jour. Un outil de coupe est associé à cette trancheuse et suit la roue ou chaîne; la remorque équipée des tourets de fourreaux s'associait à la trancheuse et les fourreaux arrivaient dans l'outil de coupe qui recevait également le grillage avertisseur et le fil de détection.

La pose des fourreaux et accessoires se réalisait donc automatiquement, et le remblaiement de la fouille suivait immédiatement l'outil de coupe; dans certains cas particuliers, il était fait usage de sable ou de béton de tranchée au moment où les fourreaux étaient mis en place, le sable ou le béton servant ainsi de protection autour des fourreaux contre toute migration d'éléments contenus dans le sol avoisinant.

Les opérations de remblai demandaient des opérateurs qui suivaient la trancheuse et veillaient au bon déroulement des opérations, puis d'un engin type Mecalac qui effectuait toutes les opérations de remblai et nettoyage; si bien que l'atelier de tranchage mécanisé mobile s'étend sur moins de 150/200 ml;

◆ **tranchage traditionnel classique** : un tracto-pelle réalise l'excavation sur un petit linéaire; certaines équipes ont développé sur un principe identique à l'outil de coupe des trancheuses, des outils semblables qui présentent l'avantage de poser les fourreaux à tension constante, dans l'ordre idoine, avec tous les divers accessoires (grillage, fil de détection...); une trémie à sable complète le procédé;

◆ **tranchage traditionnel sous TPC** : cette technique équivaut à mettre en place des tubes PVC de diamètre important et, en laissant des puits de tirage, à tirer sur des fourreaux à l'aide de chaussettes et treuils;

◆ **forage dirigé** : une machine de forage dirigé s'installe à une extrémité de la portion à forer et par rotation/poussage de tubes de 6 ml dont la tête est équipée d'un foret directionnel, l'autre extrémité du forage est atteinte; dès lors la mise en place d'un aléreur équipé d'un tube continu permet d'obtenir le forage au diamètre nécessaire. A noter que pour la réalisation du forage dirigé sous la Dordogne (480 ml) il a été fait appel à la société HDI qui a mobilisé un de ses plus gros équipements;

◆ **forage horizontal** : deux fosses doivent être réalisées à chaque extrémité du forage; l'encombrement de l'équipement est du même ordre en



Photos 2, 3 et 4
Plusieurs techniques de pose sont utilisées sur ce projet (pose mécanisée, pose traditionnelle et forage dirigé)

Several placement techniques are used on this project (mechanised laying, conventional laying and directional drilling)



PRINCIPALES FOURNITURES UTILISÉES

- 16 800 km de fourreaux PEHD diamètre 40 mm, épaisseur 3,7 mm de type Novotech, Uponor ou Vogelsang;
- 65 000 manchons type Plassim adaptés aux fourreaux décrits ci-avant;
- 664 sites de trois chambres en béton préfabriqué type K2C équipées avec kit bi-opérateur, serrures, étiquettes particulières et tampons fonte;
- 1 400 km de grillage avertisseur de type Lancier;
- 1 400 km de fil de détection avec boîtiers tous les 7 200 ml de type Plynox;
- 1 400 bornes type Tellura positionnées le long du tracé

Photo 5
Passage de la trancheuse,
dont la roue de 20 cm
ouvre la tranchée

Passage of trencher,
whose 20-cm wheel opens
the trench



Photo 6
Fibres optiques
Optical fibres



une forme de 2 m de longueur, par 1,20 m de largeur et 1 m de hauteur ; des serrures individuelles par opérateurs, des étiquettes spécifiques, des tampons fonte terminaient la prestation des chambres.

Une vérification exhaustive a été conduite pour certifier le libre passage de tous les fourreaux et la continuité du système de détection.

Le mandrinage a consisté à envoyer sous pression un mandrin d'une chambre à l'autre dans tous les fourreaux.

L'essai de pression a consisté à maintenir 2 bars de pression durant 1 heure dans chaque fourreau. La phase de génie civil a été réalisée de juillet 2000 à janvier 2001, période très pluvieuse ; une attention particulière a été accordée aux réfections de surface, pour satisfaire les exigences des municipalités traversées.

Pose et raccordement de câbles

Plus d'une centaine de personnes de neuf entreprises GTIE se sont attachées à cette activité, l'objectif de recourir exclusivement aux moyens propres du groupe GTIE ayant été atteint (cf. encadré "Données techniques fibres optiques").

Chaque atelier de pose disposait de deux machines de pose "Superjet", deux compresseurs et un dévidoir de câble, pour réaliser la pose d'un touret de 7 250 m de câble complet par jour et, lorsque la géographie du tracé le permettait, deux tourets de câble. Les câbles de 192 fibres (une fibre mesure quelques microns et son cœur, qui permet le passage de la lumière, 9 µ) et d'un diamètre de 16 mm (photo 6), étaient insérés à l'intérieur des fourreaux par la méthode du portage à l'air : une injection d'air sous pression dans le fourreau (40 à 100 m/minute), permet de pousser le câble à partir des chambres. La continuité des fourreaux est réalisée par manchons vissables permettant d'obtenir une étanchéité parfaite. Pour le raccordement des câbles, les techniciens commencent par dénuder le bout de chaque fibre avant d'effectuer la soudure par jaillissement d'un arc électrique, en surveillant l'opération sur un écran plasma qui indique aussi la qualité de l'épissure (fusion) effectuée. Ensuite, la fibre soudée est recouverte d'une protection d'épaisseur "smouve" puis mise dans un four annexe. Des cassettes contenant des paquets de douze fibres sont empilées dans une boîte de raccordement, fixée délicatement dans les chambres.

Toutes les fibres optiques de chaque tronçon sont testées dans les deux sens avec des appareils de mesures optiques pour qualifier l'atténuation de chaque épissure.

Les sites de régénération

Un site de régénération a pour fonction de permettre la régénération du signal transitant par la fibre op-

horizontal qu'en dirigé, de même que le principe de fonctionnement ;

◆ **encorbellement** : cette technique, utilisée principalement pour les passages des ouvrages, consiste à mettre en place des caissons le long de l'ouvrage et à faire courir les fourreaux à l'intérieur ; des précautions doivent être prises pour prendre en compte les variations d'élongations entre PEHD et acier. En règle générale, les tranchées étaient remblayées et nettoyées au moment où les sites de chambres étaient positionnés soit dans l'axe des fourreaux, soit en parallèle (photo 5). Un site se trouvait en moyenne tous les 2 335 m ; il comprend trois chambres équipées avec un kit bi-opérateurs, et quatre préperçements par opérateur ; deux fourreaux entraînent par opérateur. Une chambre type K2C est réalisée en béton préfabriqué et présente

DONNÉES TECHNIQUES FIBRES OPTIQUES

- 225 tourets de 7250 m
- 196 boîtes de protection d'épissures
- 29 têtes de câbles
- 90 000 soudures
- 4 ateliers de pose
- 22 ateliers de raccordement et mesures

tique (photo 7). En effet, la puissance de transmission du signal s'amenuise avec la distance et il est nécessaire de remettre le signal à niveau pour ne pas risquer de perdre des données.

Dans le cas du projet Telia, il s'agit de quatorze bâtiments indépendants de 300 m² à ossature métallique, aménagés le long du tracé tous les 80 km environ.

Pour assurer cette régénération en toute sécurité, ces bâtiments présentent des caractéristiques techniques élevées concernant les corps d'états techniques :

- ◆ indépendance et fiabilité en énergie par une alimentation via réseau MT en 20 kV, en coupure d'artère (ou antenne selon le site);
- ◆ groupe électrogène de secours à démarrage automatique en cas de perte d'alimentation réseau EDF avec autonomie de 3 jours;
- ◆ ensemble de batteries assurant 3 heures de continuité d'alimentation des baies de régénération;
- ◆ possibilité de raccord sur groupe électrogène mobile;
- ◆ détection et protection incendie avec système d'extinction automatique;
- ◆ climatisation et ventilation assurant une constance de l'humidité et de l'hygrométrie;
- ◆ contrôle des accès, détection d'intrusion et système de surveillance à distance.

L'isolation des bâtiments et la protection incendie ont été particulièrement soignées.

Chaque bâtiment comprend un local technique où arrivent tous les réseaux et où sont situés les tableaux, armoires de commande, etc., des locaux destinés à abriter les équipements actifs de régénération du signal optique.

Une partie des locaux seront mis à disposition d'autres opérateurs par Telia (cf. encadré "Données techniques Bâtiments").

■ MÉTHODES ET ASSURANCE QUALITÉ

La cellule de pilotage a élaboré un ensemble de spécifications, méthodes et procédures permettant d'assurer le respect des engagements de délais et de qualité. Une méthodologie de planification propre à chaque phase du projet a été élaborée avec des systèmes de remontée d'information d'avancement terrain permettant une visibilité complète au quotidien et une information périodique de Telia. Un plan d'assurance qualité comprenant des spécifications, des procédures d'exécution et de contrôles a été mis en place. Des outils particuliers de formation pratique ont été élaborés. Une équipe de contrôle qualité pilotée en central a vérifié constamment le respect des spécifications et des procédures, identifiant les non-conformités et veillant à leur correction.



Photo 7
Un shelter est un site de régénération, aménagé sur le tracé tous les 80 km environ

A regeneration shelter is provided along the route every 80 km approximately

■ MAINTENANCE

La maintenance du réseau, prévue pour 5 ans, a commencé dès le 15 juin 2001 avec un calendrier de montée en puissance de prestations adaptées à la mise en service du réseau. Premier volet du contrat, la maintenance préventive comprend une gamme de prestations de vérification et d'entretien concernant essentiellement les sites techniques. Telia a également délégué le traitement des DR (demandes de renseignements) et des DICT (déclarations d'intention de commencer des travaux), afin de s'assurer que son réseau ne serait pas endommagé au cas où d'autres intervenants souhaiteraient mener des travaux aux abords de son tracé. Dès la fin de l'année 2001, d'autres prestations préventives seront mises en place : opérations périodiques de contrôle, vérification et tests à l'intérieur des bâtiments techniques (équipements électriques, climatiques, système de détection d'incendie...) et opérations d'entretien du bâtiment et de ses abords. Les fibres optiques seront vérifiées périodiquement à partir des têtes de câbles situées à l'intérieur des bâtiments techniques et de manière *ad hoc* sur le linéaire et les chambres. Le deuxième volet du contrat de maintenance concerne les astreintes et les interventions correctives. Des centres d'astreintes par catégorie (fibres optiques, génie civil, bâtiments techniques) fonctionneront 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours sur 365, avec la mise en place d'une logistique et d'un numéro d'appel où Telia signalera tout incident. Vinci Networks est soumis à des engagements de délai d'intervention et de remise en service. Après établissement d'un diagnostic, il faudra, en collaboration avec un technicien Telia, proposer des solutions palliatives dans un premier temps (pour une remise en service du réseau le plus vite possible) puis correctives définitives dans un deuxième temps. Enfin, Telia pourra confier à Vinci Networks des petits travaux, liés

DONNÉES TECHNIQUES BÂTIMENTS

- 14 terrains de 5 000 m²
- 14 bâtiments de 300 m²
- Salle multiclient et salles privées
- EDF 20 kV - Groupe 350 kVA
- Batteries 48 V
- Climatisation - Ventilation
- Détection et extinction incendie
- Gestion des accès et anti-intrusion
- Circuit de terre et paratonnerre

DONNÉES TECHNIQUES

- Le chantier a demandé en pointe le recours aux sous-traitants suivants :
- 28 ateliers de tranchage mécanisé. Principaux trancheurs : Beuzit, Criscom, EDTP, Huré, LTP Locanord, Périgord TP, Potain, Roux, SEES, STE, STT, etc.
 - 22 ateliers de forage dirigé et horizontal
 - 50 ateliers de pose traditionnelle

à l'évolution de son réseau et à sa mise en service progressive. Pour réaliser cette maintenance, Vinci Networks s'appuie sur 25 entreprises : huit entreprises GTIE spécialisées en fibres optiques, dont une qui sert de centre de coordination des interventions sur les fibres optiques; huit entreprises GTIE spécialisées en électricité et thermique, une de ces entreprises jouant le rôle de "centre de gestion du contrat" (coordination de toutes les interventions, planification des actions préventives et rôle de point d'entrée unique pour Telia au moment des incidents); huit agences Sogea pour les interventions de génie civil; une entreprise GTIE fournisseur du système d'information géographique NETGEO, qui permet de coupler une immense base de données comprenant l'ensemble des plans et données du réseau Telia, indexés et renvoyant à de la cartographie. Les terminaux d'accès au système sont installés dans les entreprises chargées de la maintenance et chez Telia, le serveur central étant placé chez Vinci Networks.

**CHIFFRES - CLÉS
DU CHANTIER**

- Liaison en 12 fourreaux PEHD 40 mm
- APS : 2 mois
- APD : 3 mois
- Génie civil : 10 mois
- Pose et raccordement de câbles : 8 mois
- Signature du contrat : 4 février 2000
- Approbation de l'APS par le client : 28 avril 2000
- Réception de l'ouvrage : juin 2001

ABSTRACT

**Information highway
A backbone of 1 400 km
of optical fibre from Paris
to Hendaye**

P. Anjolras, Th. de Séverac, Cl. Brunier-Coulin, Ch. Duboin-Bidet, P.-Ph. Portejoie, R. Schuster

On 4 February 2000, Scandinavian operator Telia awarded Sogea and GTIE, two companies of the Vinci group, a contract for the placing in less than 16 months of more than 1 400 km of optical fibre from Paris to Hendaye via Rouen, Caen, Rennes, Nantes, Bordeaux and Biarritz. Sogea was in charge of the civil engineering, and GTIE of cable laying and connection as well as the construction and equipment of the regeneration sites. This article describes the specific aspects of the project and its different execution phases.

RESUMEN ESPAÑOL

**La carretera
de los estuarios
de la información
Un backbone de 1 400 km
de fibras ópticas
de París a Hendaya**

P. Anjolras, Th. de Severac, Cl. Brunbier-Coulin, Ch. Duboin-Bidet, P.-Ph. Portejoie y R. Schuster

El 4 de febrero de 2000, el operador escandinavo Telia atribuyó al Grupo Sogea y GTIE, dos sociedades del Grupo Vinci, la ejecución en menos de 16 meses de un tendido de más de 1 400 km de fibras ópticas, de París a Hendaya, vía Ruán, Caen, Rennes, Nantes, Burdeos y Biarritz. La empresa Sogea ha tenido a su cargo las obras de la ingeniería civil y GTIE del tendido y la conexión de los cables, así como la construcción y equipos de los emplazamientos de regeneración de la señal. Se describe en este artículo el carácter específico de las obras, así como las diversas etapas de su ejecución.

Label IVOR

Deux nouveaux labels délivrés par le Comité IVOR en 2001



Les 19° et 20° labels IVOR viennent d'être décernés à :

- la couverture pare-blocs structurellement dissipante (couverture PSD);
- le procédé Rapidopont® : des ouvrages mixtes en BHP à connexion différée.

Ce dernier a également reçu le 2° prix des prix de l'Innovation du Syndicat professionnel des entrepreneurs de travaux publics de France en mars 2001.

■ LES LABELS IVOR

En 1995

◆ L'utilisation dans la construction d'ouvrages d'art d'aciers thermomécaniques de haute ténacité soudables sans préchauffage. L'ouvrage de référence est le pont sur le Gardon construit à Remoulins (Gard) par l'entreprise Eiffel; avec les aciers thermomécaniques produits par GTS Industries, branche "produits plats" d'Usinor Sacilor, sous la maîtrise d'ouvrage de l'Etat (DDE 30) avec le conseil technique du Setra.

◆ Le procédé de démantèlement contrôlé de ponts à poutres isostatiques sous chaussée, testé par l'entreprise S.N.P. (filiale de Spie-Citra) et le bureau d'études Sauvan-Dallemagne Etudes, sur le viaduc du Vallon Charretier (Var), sous la maîtrise d'ouvrage du département du Var.

◆ L'utilisation du clouage pour réaliser un mur de soutènement. L'ouvrage de référence est le mur de soutènement ouest construit sur l'autoroute A12 à Bois d'Arcy (Yvelines) par la société Bouygues, avec l'entreprise STIPS comme sous-



➔ Les fiches IVOR sont téléchargeables sur le site internet du ministère, rubrique Recherche et Innovation :

<http://www.equipement.gouv.fr/recherche>

traitant pour le forage et le béton projeté, sous la maîtrise d'ouvrage de l'Etat (DDE 78), avec le conseil technique de Scetauroute.

En 1996

◆ Le procédé Modulopont-2 de construction industrialisée de pont de type courant.

L'ouvrage de référence est le passage inférieur n° 16 de l'autoroute A28 (Seine-Maritime) construit par l'entreprise Quille, sous maîtrise d'ouvrage Etat (DDE 76), avec conseil technique du Setra.

◆ **L'utilisation du bois pour la structure d'un pont routier.** L'ouvrage de référence est le pont sur la Dore construit à Saint-Gervais-sous-Meymont (Puy-de-Dôme) par l'entreprise Tarentaise-Maintenance-Bâtiment, sous la maîtrise d'ouvrage du département du Puy-de-Dôme ; D. Calvi et le Laboratoire de rhéologie du bois de Bordeaux étant les maîtres d'œuvre.

◆ **L'utilisation du sable comme granulats principal dans la couche de base d'une chaussée.** L'ouvrage de référence est la route départementale construite entre La Teste et Le Pyla (Gironde) par l'entreprise C.M.R., sous maîtrise d'ouvrage du département de la Gironde (DDE 33 maître d'œuvre).

En 1997

◆ **Un écran poreux (gravillons enrobés de coulis ECOSOL®)** pour traiter une pollution in situ. L'ouvrage de référence est la tranchée drainante construite par Solétanche au pied du remblai de l'autoroute A22 à Neuville-en-Ferrain (Nord), sous la maîtrise d'ouvrage de l'Etat (DDE 59), avec le conseil technique du LCPC.

◆ **La précontrainte extradossée dans un ouvrage d'art.** L'ouvrage de référence est le pont franchissant la rivière l'Arc et l'autoroute A43 à Saint-Rémy-de-Maurienne (Savoie). Conçu par le Bureau Tonello et l'architecte Charles La Vigne, ce pont a été construit par Fougerolle Ballot sous la maîtrise d'ouvrage de la Société française du tunnel routier du Fréjus, la Setec étant conducteur d'opération et la DDE 73 maître d'œuvre.

◆ **Le pont provisoire rapide à construire,** dont un exemplaire a été mis en place par le Centre national des ponts de secours pour le compte du département de l'Oise afin de permettre le franchissement de l'Oise par la route départementale 418 à Précy-sur-Oise. Conçu par le CNPS, le PIMM® est fabriqué par Baudin-Châteauneuf.

◆ **La réparation d'ouvrage d'art par collage de tissu à base de fibres de carbone.** L'ouvrage de référence est le franchissement de l'autoroute A10 par la route départementale 142 entre Allainville et Allaines (Eure-et-Loir), renforcé par l'entreprise Freyssinet, avec le tissu à base de fibres de carbone (TFC) fabriqué par Soficar et la colle

fournie par Ato-Findley, sous la maîtrise d'ouvrage de Cofiroute.

◆ **L'utilisation de matériau composite pour la construction de portes d'écluse.** L'ouvrage de référence est l'écluse n° 14 de la chaîne de Golbey, sur le canal de l'Est (Vosges). Les nouvelles portes ont été conçues, construites et mises en place par la Direction des constructions navales de Lorient, sous la maîtrise d'ouvrage de Voies Navigables de France et avec l'assistance technique du Centre d'études techniques maritimes et fluviales.

En 1999

◆ Le procédé EPI/PB de mur de soutènement préfabriqué pour déchetterie.

L'ouvrage de référence est la déchetterie de Bressuire (Deux-Sèvres). Le procédé de soutènement conçu par M. Dutel a été mis en œuvre par l'entreprise Préfa Bressuirais avec les conseils techniques de Coulais Consultant et de ABAC (Activités béton armé constructions) pour le compte du Syndicat du Val de Loire.

◆ **Le système de chasse automatique pour drains siphons (stabilisation de glissements de terrain).** L'ouvrage de référence est le drainage profond gravitaire par drains siphons régulés par chasses automatiques, mis au point par le groupe RESS et construit par l'entreprise TP Géo, à Oingt (Rhône) pour stabiliser un glissement de terrain sous la RD96, le Conseil général du Rhône étant maître d'ouvrage.

◆ La technique des âmes métalliques plissées dans un caisson précontraint.

L'ouvrage de référence est le pont de la Corniche, franchissant le Doubs et le canal du Rhône au Rhin, à Dole (Jura). Conçu par l'architecte Alain Spielmann, ce pont a été construit par Campenon Bernard SGE sous la maîtrise d'ouvrage de la Ville de Dole, la DDE du Jura assurant la maîtrise d'œuvre avec le conseil technique du Cete de Lyon.

En 2000

◆ **L'application de la technique de la précontrainte par post-tension à un dallage industriel sur sol,** mise au point par VSL France. L'ouvrage de référence est un dallage de l'usine du groupe O.C.G. Cacao S.A. à Grand Quevilly (Seine-Maritime), pour lequel ce maître d'ouvrage ne tolérait aucune fissuration pour des raisons sanitaires. Conçue par l'architecte Claude Bucher, l'usine a été construite par Bouygues - DCI et le dallage par VSL France sous le contrôle du centre technique Apave Normandie.

◆ **L'AUTORIPAGE® d'ouvrages d'art de très grand poids dans un délai très court,** technique développée par JMB Méthodes. L'ouvrage de réfé-

rence correspond au passage de l'autoroute A77 sous les voies ferrées SNCF Paris/Clermont-Ferrand à Boismorand (Loiret). Ce pont de 5 600 tonnes a été construit, sous maîtrise d'ouvrage de la SNCF, par Demathieu & Bard, à côté des voies à franchir, puis ripé par VSL France jusqu'à son emplacement définitif.

◆ **Le remblai léger PLASTBLOC®,** innovation couverte par un brevet (Laboratoire génie-civil-habitat-environnement de l'IUT A de Villeurbanne, Société Ingéval, S.A. Trivalor). L'ouvrage de référence est un élargissement en remblai du Lacet du Cudret sur la Route Départementale 99 à Montaimont (Savoie). L'innovation porte sur l'utilisation de déchets de matières plastiques propres compressés en blocs pour constituer des remblais légers. Dans le cas de l'ouvrage de référence, le remblai en PLASTBLOC® diminue les efforts de poussée sur le rideau de palplanches.

◆ **Le revêtement des piédroits d'un tunnel par des coques en CCV (composite ciment-verre, revêtu d'un film de résine de métacrylate)** mises au point par la société Betsinor, dans le cadre de la charte "Innovation ouvrage d'art" mise en place par le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et la FNTP. L'ouvrage de référence correspond à l'extrémité ouest du tunnel de Saint-Cloud (Hauts-de-Seine) situé sur l'autoroute A13 dans le sens Paris-Provence.

Pour toute information s'adresser à Hervé Thuillier, secrétaire du **Comité IVOR** :
METL/DRAST - 92055 Paris La Défense Cedex 04
Tél. : 01 40 81 29 47
Télécopie : 01 40 81 27 31
e-mail : Herve.Thuillier@equipement.gouv.fr

Etat d'avancement des contrats de plan

Les contrats de plan Etat Région (CPER) 2000-2006 ont été signés il y a un an. Selon les différents modes de transport leur démarrage a été plus ou moins lent. Cet article est une synthèse des entretiens menés au ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement sur chacun des volets routier, ferroviaire et voies navigables. Les informations recueillies portent sur les autorisations de programme. Un prochain article réalisé à partir des données de l'enquête semestrielle menée avec les FRTP auprès des directions régionales de l'Équipement permettra de faire le point sur leur exécution en autorisations de programme et en crédits de paiement.

■ PRISE EN COMPTE DE LA MULTIMODALITÉ

Les CPER ont donc été signés dans leur grande majorité au premier semestre 2000, les autres le furent à l'automne 2000. Le caractère multimodal de cette génération de CPER est nettement plus affirmé que pour la précédente et a pu retarder leur signature. En effet, les CPER sont marqués par les dispositions de la loi d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire (LOADDT) du 25 juin 1999, instituant les Schémas de services collectifs (SSC). L'un de ces schémas de services porte sur le transport de marchandises et de voyageurs.

■ VOLET ROUTIER : DU RETARD DÈS LE DÉPART

En autorisations des programmes, les années 2000 et 2001 représentent 25,1 % du volet routier de l'ensemble des contrats sur 7 ans. La répartition linéaire et théorique des 2/7 de ces contrats cor-

respond à 28,6 %. Le retard sur le calendrier théorique est donc voisin de 3,5 %.

Pour la Direction des Routes l'idée, avant tout arbitrage ultérieur, est de récupérer le retard sur les cinq dernières années. Pour 2002, l'hypothèse basse et réaliste vise le 1/7, soit une progression de 7,6 % en valeur sur 2001. D'autres hypothèses moins réalistes au sens du budget de l'Etat tablent sur un rattrapage accéléré sur 2002 et 2003 avec une baisse de régime en fin de période.

La Direction des Routes délègue de façon globale des crédits de paiement à chaque région et département. Pour 2000, les crédits de paiement ont été de 9,3 milliards de francs. Pour 2001, ils progresseraient de 7 % en valeur (première estimation).

■ VOLET FERROVIAIRE : PEU DE RÉALISATIONS AVANT 2003

Les travaux réalisés dans le cadre des CPER ne portent pas sur le matériel roulant, les lignes nouvelles (cf. Lignes à Grande Vitesse) et la régénération (entretien), mais concernent les performances nouvelles (renforcement de la vitesse par exemple), les mises au gabarit et les voies supplémentaires.

Le passage d'une génération à l'autre de CPER est marqué par une redéfinition de la place de l'Etat qui met l'accent sur la modernisation des infrastructures. Les engagements de l'Etat passent ainsi de 1 milliard de francs pour la période 1994-1999 à 7,6 milliards de francs pour la période 2000-2006. Le faible taux d'exécution des CPER s'expliquerait donc par le manque d'anticipation dans la préparation des projets. Bien souvent les CPER ont été signés sur la base d'estimations préliminaires. La régionalisation des transports de voyageurs (TER) a créé de nouveaux besoins en capacités ce qui a rendu le montage des projets plus complexe. Il y aura désormais des arbitrages à effectuer dans la gestion des priorités entre les voyageurs et le fret.

Enfin, la création de RFF a introduit de nouvelles procédures. En effet, après que les CPER aient été signés, des conventions d'application sont signées avec RFF en définissant son intervention.

La signature de ces conventions s'est poursuivie jusqu'au premier semestre 2001. Chaque opération fait l'objet d'une convention particulière. L'engagement de RFF qui est fonction de la rentabilité du projet varie entre 10 et 15 %. Sur la période 2000-2006, les opérations devraient se dérouler selon le calendrier suivant :

- ◆ 2000-2002 : études ;
- ◆ 2001-2002 : procédures ;
- ◆ 2003-2006 : travaux.

Les autorisations de programme (part de l'Etat) seraient alors de 0,5 milliard de francs/an sur 2000-2002 puis de 1,5 milliard de francs/an sur 2003-2006. Des incertitudes portent aujourd'hui sur la capacité de la ressource budgétaire à suivre le triplement des autorisations de programme. En 2000, les autorisations de programme ont été de 350 millions de francs (sur 7,6 milliards de francs pour 2000-2006) : à part des études, les seuls travaux ont porté sur l'électrification de la ligne Rennes - Saint Malo.

■ VOLET VOIES NAVIGABLES : GRANDS PROGRAMMES À PARTIR DE 2003

Les financements consacrés aux voies navigables atteignent 5 milliards de francs sur la période 2000-2006, dont 3,9 milliards de francs concernent Voies Navigables de France.

Le calendrier des travaux est variable selon leur nature :

- ◆ pour les travaux de restauration, 20 % du programme sera réalisé à fin 2001. Les travaux seront réalisés sur 2000-2006 suivant un étalement linéaire. Ces travaux accusent déjà un retard sur le déroulement théorique des CPER (2/7) ;
- ◆ les travaux à vocation "transport" (grands programmes interrégionaux) ne commenceront pas avant 2003, la période 2000-2002 étant consacrée aux études et aux enquêtes publiques. La loi sur l'eau a renforcé les démarches administratives. Sur Seine-Oise, le taux d'exécution sera de 3 % à fin 2001. Ces travaux portent sur le développement et la modernisation des canaux concernant notamment les écluses et les ponts. Le projet Seine-Nord (15 milliards de francs) est retardé du fait des études préalables, mais a commencé en améliorant les extrémités.

CONCLUSION : DIFFICILE APPRENTISSAGE DE LA MULTIMODALITÉ

Ce premier bilan sur l'exécution des CPER fait dès à présent apparaître des retards qui révèlent la difficile mise en place de la politique multimodale initiée par les SSC. Ainsi il faudra attendre 2003, soit la moitié des CPER, pour que les volets ferroviaires et voies navigables ne démarrent réellement.

Pour ce qui est du volet routier, les discussions qui ne font que commencer sur le budget 2002 seront riches d'enseignement sur les chances de rattraper le retard sur les cinq dernières années du CPER.

La dégradation du déficit budgétaire sur les premiers mois de 2001 par rapport à l'an dernier dans un contexte de ralentissement de la croissance et de moindres rentrées fiscales accroît la probabilité que l'Etat ne tienne pas ses engagements. La montée en puissance des autori-

sations de programme pour les volets ferroviaires et voies navigables pourrait alors être compromise.

Par ailleurs, en marge des CPER, de nombreux programmes spécifiques financés intégralement par l'Etat ont été signés. Ils seraient beaucoup plus exposés à une politique de restrictions budgétaires que les CPER qui sont cofinancés.

(Source FNTP)

