

Travaux

n° 750

AUTOROUTES

- Autoroute A 39. Plus de 70 kilomètres de chaussées entre Dole et Bourg-en-Bresse
- Renforcement de chaussées sur l'autoroute A 26
- L'autoroute M5 en Hongrie. Une concession en Europe centrale
- Autoroute Ville-Marie. En plein cœur de Montréal : la réhabilitation de l'autoroute 720 Est

ROUTES

- Chantier expérimental d'une chaussée en béton armé continu à Angoulême
- Aménagement du boulevard périphérique Est de Lille

PISTES - AÉROPORT ET KARTS

- Aéroport de Roissy. Piste 4 et voies de circulation
- La piste de karts de Paris-Bercy : Une course contre la montre !

TERRASSEMENTS

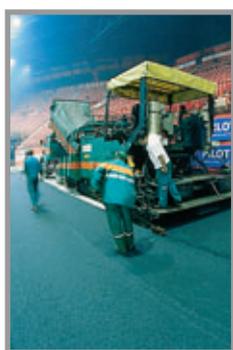
- Les terrassements de l'autoroute A 404. L'autoroute des Atlantes
- L'autoroute A 39. Stratégie des terrassements dans la plaine de Bresse
- La déviation d'Auch. Terrassements en terrains hétérogènes, évolutifs et surconsolidés

ENVIRONNEMENT

- Valoriser les mâchefers par la géomembrane bitumineuse Colétanche



Routes



Notre couverture

**Mise en œuvre
de la piste de karts
au Palais omnisports
de Paris-Bercy**

Photo Eric Benard

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 35 09 95

Fax : (33) 02 41 35 09 96

E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

MAQUETTE

T2B&H

8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris

Tél. : (33) 01 44 64 84 20

VENTES ET ABBONNEMENTS

Colette Robert

RGRA

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 01 40 73 80 05

E mail :

revue.generale.des.routes.rgra@wanadoo.fr

France : 920 FF TTC

Etranger : 1100 FF

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

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle

61, bd de Picpus - 75012 Paris

Tél. : (33) 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).

Éditions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n° 57304



éditorial

Daniel Tardy

actualités

matériels

PRÉFACE

Jacques Lugiez

AUTOROUTES

Autoroute A 39. Plus de 70 kilomètres de chaussées entre Dole et Bourg-en-Bresse

- *Motorway A 39. Over 70 kilometres of pavements between Dole and Bourg-en-Bresse*

E. Sapin

◆ Renforcement de chaussées sur l'autoroute A 26

- *Overlaying of pavements on motorway A 26*

Y. Meunier, Fr. Caron

◆ L'autoroute M5 en Hongrie. Une concession en Europe centrale

- *Motorway M5 in Hungary. A concession-operated motorway in Central Europe*

L. Dabet, O. Miret

◆ Autoroute Ville-Marie. En plein cœur de Montréal : la réhabilitation de l'autoroute 720 Est

- *Ville-Marie motorway. In the heart of Montreal : rehabilitation of highway 720 East*

D. Cormier

ROUTES

◆ Chantier expérimental d'une chaussée en béton armé continu à Angoulême

- *Trials with a continuously reinforced concrete pavement in Angoulême*

P.-P. Gabrielli

◆ Aménagement du boulevard périphérique Est de Lille

- *Rehabilitation of Lille's East Ring-road*

V. Galera

PISTES - AÉROPORT ET KARTS

◆ Aéroport de Roissy. Piste 4 et voies de circulation

- *Roissy Airport. Runway 4 and taxiways*

J. Gonnet, Fr. Debain, C. Massenet

Sommaire

février 1999

Routes

Dans les prochains numéros

Travaux urbains

Réhabilitation

d'ouvrages

Sols

et fondations

Tunnels

Offshore -

Travaux en mer

Environnement

Terrassements

International

Ponts



◆ La piste de karts de Paris-Bercy : une course contre la montre!
- *Go-cart track at the Bercy stadium in Paris : race against the clock*

P.-M. Spillemaecker, P. Monlucq



TERRASSEMENTS

◆ Les terrassements de l'autoroute A 404. L'autoroute des Atlantes
- *Earthworks on motorway A 404. The motorway of the Atlantes*

J. Martin



◆ L'autoroute A 39. Stratégie des terrassements dans la plaine de Bresse
- *Motorway A 39. Earthworks strategy in the Bresse plane*

L. Perdriel



◆ La déviation d'Auch. Terrassements en terrains hétérogènes, évolutifs et surconsolidés
- *The Auch diversion. Earthworks in heterogeneous and evolving overconsolidated soil*

R. Dulcire, M. Virollet



ENVIRONNEMENT

◆ Valoriser les mâchefers par la géomembrane bitumineuse Colétanche
- *Gainful use of clinker by the Colétanche bituminous geomembrane*

M. Laude

économie

**répertoire
des fournisseurs**

46

49

54

59

64

68

70

Route de rase campagne, déviation de bourg, autoroute interurbaine, rue de village, avenue dans la ville, voie rapide urbaine, périphérique de grande agglomération, sous toutes ses déclinaisons la Route est l'un des signes les plus évidents de l'activité humaine.

Elle est l'exemple le plus ancien de la capacité des hommes à organiser et transformer l'espace où ils vivent, et son rôle dans les sociétés de tous les pays, qu'ils soient industrialisés, en économie de transition, ou en voie de développement est encore irremplaçable, et pour longtemps encore sans aucun doute.

Infrastructure spécialisée pour la circulation en sécurité, à fort débit des véhicules automobiles, intégrant les technologies modernes des télécommunications et du traitement de l'information, elle est autoroute de liaison ou autoroute urbaine.

Espace partagé entre des usagers divers : piétons, cycles, voitures, transports en commun, elle est une composante essentielle du paysage urbain et participe directement à la qualité de vie des citoyens c'est-à-dire la grande majorité des habitants des pays développés sinon de la planète.

Face à ce rôle essentiel des réseaux routiers et de voiries, l'attitude et les attentes des citoyens dépendent largement du niveau de vie des sociétés concernées. Dans les pays en développement la nécessité de disposer de routes praticables et entretenues est une évidence, tandis que dans les pays à niveau de vie élevé, comme le notre un débat s'est instauré et une fraction significative de l'opinion publique tend à penser que l'on "en a suffisamment fait" et qu'il y a mieux à faire que de construire de nouvelles routes.

Assurément, dans un contexte de ressources limitées l'entretien du patrimoine routier existant doit être une priorité absolue compte tenu de sa valeur (150 milliards d'Euros pour le seul réseau national), et de l'impact d'un réseau dégradé sur l'efficacité et le coût des transports des personnes et des biens. Il faut au passage s'interroger sur notre capacité à imaginer des solutions de financement innovantes, comme le font certains de nos voisins.

S'il est indispensable, le seul entretien ne suffit pas car il faut en permanence adapter les réseaux à des besoins qui évoluent :

- restructuration et remodelage des voiries des villes qui ne doivent plus être conçues au profit exclusif de la voiture ;
- aménagement des réseaux routiers – national, départementaux – en termes de capacité, d'homogénéisation des caractéristiques et

des équipements, d'amélioration de la sécurité, car l'infrastructure a sa part dans la réduction des accidents.

Mais d'autres besoins subsistent qu'une politique d'entretien, même bien conduite, ne peut satisfaire et les maillons manquants du réseau pénalisent l'efficacité de notre système de transports mais aussi la qualité de notre cadre de vie :

- déviations d'agglomérations sans lesquelles le trafic de transit encombre la voirie urbaine et perturbe la vie des habitants ;
- achèvement du réseau maillé autoroutier interurbain indispensable pour son rôle dans l'aménagement du territoire et sa contribution à la sécurité routière (avec un taux de tués quatre fois moindre que sur l'ensemble des réseaux) ;

- achèvement des voies rapides structurantes des grandes métropoles (A86 en Ile-de-France, périphérique de Lyon, rocades urbaines...) parfaitement complémentaires d'un accroissement de la part des transports en commun dans les déplacements urbains.

Comme l'illustrent bien les articles retenus dans ce numéro consacré à la Route, mais aussi à ces chaussées particulières que sont les pistes et voies de circulation d'aéroport, les compétences des hommes, des entreprises, des industries, des bureaux d'études mobilisées par la conception puis la réalisation des routes sont multiples ; la route n'est pas en effet l'objet banal que beaucoup imaginent à l'exception des ouvrages immédiatement perçus comme des "ouvrages d'art". Inscrite dans le sol, la route modifie le milieu, doit composer avec les forces naturelles, pour finalement offrir aux usagers une surface, un ruban dotés de caractéristiques précises, fruit d'un savant com-

promis qui ne laisse pas de place à l'improvisation.

Ouvrage de génie civil de grande dimension mais construit avec précision, la route est un lieu de rencontre privilégié des connaissances qui marie les sciences humaines, la science et les techniques des matériaux naturels et ceux des industries, la maîtrise à grande échelle des processus d'assurance qualité, le souci permanent du rapport qualité-prix, la conscience du délai.

Au moment où des décisions politiques importantes vont bientôt fixer pour plusieurs années les moyens financiers affectés au réseau routier national, souhaitons que ces savoir-faire, résultat de l'expérience accumulée et de la volonté d'innover constamment, trouvent leur pleine utilisation en France et dans un monde où la Route sera toujours source de richesse dans les pays qu'elle irrigue.



■ **JACQUES LUGIEZ**
Président
de l'Association
Technique de la Route

Autoroute A 39

Plus de 70 kilomètres entre Dole et Bourg-

Entre décembre 96 et juin 98, Grands Travaux Beugnet a réalisé 73 km de chaussées autoroutières y compris assainissement, équipements de sécurité et ouvrages annexes. Cet itinéraire fait partie de la section A 39 Dole - Bourg-en-Bresse, pour laquelle un soin particulier a été porté à l'insertion de l'autoroute dans son environnement.

Plus de 3 millions de tonnes de matériaux et 50 000 tonnes de bitume ont été mis en œuvre sur le chantier et un million de tonnes d'enrobés a été appliqué. Au plus fort de l'activité, 200 personnes étaient mobilisées sur le chantier.

Grands Travaux Beugnet avec ses moyens propres et ceux du groupe a pu livrer dans les délais impartis très tendus un ouvrage dont la qualité est appréciée par le client et l'utilisateur.

La Déclaration d'Utilité Publique de l'autoroute A 39 Dole - Bourg-en-Bresse a eu lieu le 11 janvier 1994. La Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône (SAPRR), concessionnaire, a ouvert la totalité du linéaire à la circulation le 3 juin 1998. Seulement quatre années et demi ont suffi pour la réalisation des 104 km de cette nouvelle infrastructure. Pour la réalisation des chaussées, cette autoroute était découpée en trois lots :

- ◆ Choisey - Arlay y compris l'Antenne de Poligny (liaison A 39 - RN 83);
- ◆ Arlay - Le Miroir;
- ◆ le Miroir - Viriat,

totalisant 104 km entre le diffuseur de Dole - Choisey et le nœud autoroutier A 39 - A 40 à Viriat, près de Bourg-en-Bresse. Ces trois lots traversent les départements du Jura sur 53 km, de la Saône-et-Loire sur 27 km et de l'Ain sur 24 km. L'intérêt national de ce projet est de constituer un itinéraire alternatif à l'autoroute A 6 Lyon - Paris, l'intérêt ré-

gional étant de favoriser les échanges, tant économiques que touristiques, entre les départements bressans (figure 1).

LES MARCHÉS

La SAPRR a confié en décembre 1996 aux entreprises Grands Travaux Beugnet et Star (groupe SCR Beugnet) la réalisation des marchés "Chaussées Assainissement" et "Equipements de Sécurité" pour le lot nord : Choisey - Arlay - Antenne de Poligny et le marché "Chaussées, Assainissement et VRD des points particuliers" pour le lot centre : Arlay - Le Miroir, soit deux lots chaussées sur trois pour un total de 73 km de construction de chaussées autoroutières neuves. En complément de la réalisation de la section courante, les marchés comprenaient également :

- ◆ l'échangeur de Bersaillin, le demi-diffuseur de la RD 192, le complément à l'échangeur de Choisey, les accès de service pour le lot nord;
- ◆ le diffuseur de la RN 78, l'aire du Jura (aire de service coté est), les aires de repos de Savigny-en-Revermont, ainsi que le centre d'entretien SAPRR de Courlaoux (RN 78), les accès de service pour le lot centre.

Les deux lots ont été menés parallèlement et suivis par un seul maître d'œuvre Scetauroute, avec sa direction de Projet A 39 à Lyon et l'antenne de Dijon. Le lot nord a été suivi par la division travaux Scetauroute de Villers Robert et conduit par une direction travaux de Grands Travaux Beugnet. Le délai contractuel est de 18 mois, dont deux mois de période de préparation et six mois de neutralisation hivernale, soit 10 mois effectifs de travaux. Le lot centre a été suivi par la division travaux Scetauroute de Bletterans et conduit par une autre direction travaux de Grands Travaux Beugnet. Le délai est de 17 mois dont deux de préparation et six de neutralisation, soit 9 mois effectifs. Le montant des marchés du lot nord s'élève à 119 millions de francs TTC pour les chaussées et à 20 millions TTC pour les équipements; celui du lot centre s'élève à 117 millions TTC.

LES CHAUSSÉES

Structures

La classe de trafic prévu est T0 (soit un trafic de 750 à 2 000 poids lourds/jour/sens). En fonction

Découpe à l'autograde
Traction with the autograde
Photo 1



Figure 1
Plan de situation
Location





de chaussées en-Bresse

de la géologie rencontrée (alluvions, graves peu sableuses, limons argileux, graves propres, marne noire...) et des performances mécaniques des matériaux rencontrés, le maître d'ouvrage a retenu trois structures de chaussées, qui diffèrent par l'existence ou non d'une couche de forme ainsi que par sa nature (granulaire ou traitée).

En fonction des zones, la plate-forme support de chaussée est constituée soit :

- ◆ d'une PST (Partie Supérieure des Terrassements) granulaire 0/200 sur laquelle une couche de réglage en GNT 0/15 a été mise en œuvre par Grands Travaux Beugnet en 15 cm d'épaisseur moyenne puis découpée en 8,50 m de large à l'autograde CMI guidé sur fils ;

- ◆ d'une couche de forme granulaire 0/60 (hors marché) mais dont la découpe à l'autograde comme précédemment figurait dans le marché "Chaussées";

- ◆ d'une couche de forme en matériaux traités au liant hydraulique.

Les couches supérieures sont les suivantes :

- ◆ une couche de fondation et une couche de base en grave bitume GB 0/14 classe 3 constituant l'assise de la chaussée ; il est à noter que l'épaisseur de ces deux couches était soit constante (9 ou 10 cm) ou variable (12 cm en voie lente et 9 cm en voie rapide) ;

- ◆ une couche de liaison en béton bitumineux de liaison antiorniérant BBLAO 0/14 d'épaisseur constante 5,5 cm ;

- ◆ une couche de roulement réalisée en béton bitumineux très mince BBTM 0/10 d'épaisseur 2,5 cm. Dans le cadre d'un partenariat SAPRR, Scetauroute, Total et Grands Travaux Beugnet, une structure de chaussée particulière a été réalisée du PK 301.49 au PK 299.887 sens Bourg – Dole. Cela consistait en la suppression de la couche de liaison et la transformation de la couche de grave bitume de base en une couche de grave bitume de liaison antiorniérante (GBLAO) soit une structure GB de fondation 0/14 - GB de liaison antiorniérante 0/14 - BBTM 0/10. La zone de réalisation a été choisie pour sa typologie : trafic important, rampe, zone de décélération et de canalisation des poids lourds avant une barrière de péage.

La GBLAO a été formulée à partir de l'utilisation de l'Ornital 40, bitume pur antiorniérant développé par Total. Le dossier technique et de dimensionnement de la structure a été réalisé par Grands Travaux Beugnet.

Un protocole de suivi de cette section d'essai a été mis en place entre les différents partenaires afin

d'évaluer l'évolution des caractéristiques de la chaussée aux âges de un, trois et cinq ans (figure 2).

Les quantités mises en œuvre

Avec la réalisation de quatre diffuseurs, d'une aire de service, d'une aire de repos, d'un centre d'entretien, l'ensemble de ces 73 km représentent plus de trois millions de tonnes de matériaux mis en œuvre. Les agrégats de chaussée GNT 0/15, 0/4, 4/10, 10/14 sont fournis soit par le maître d'ouvrage à partir d'extraction et de concassage de matériaux du site (les carrières de Desnes et de Mantry

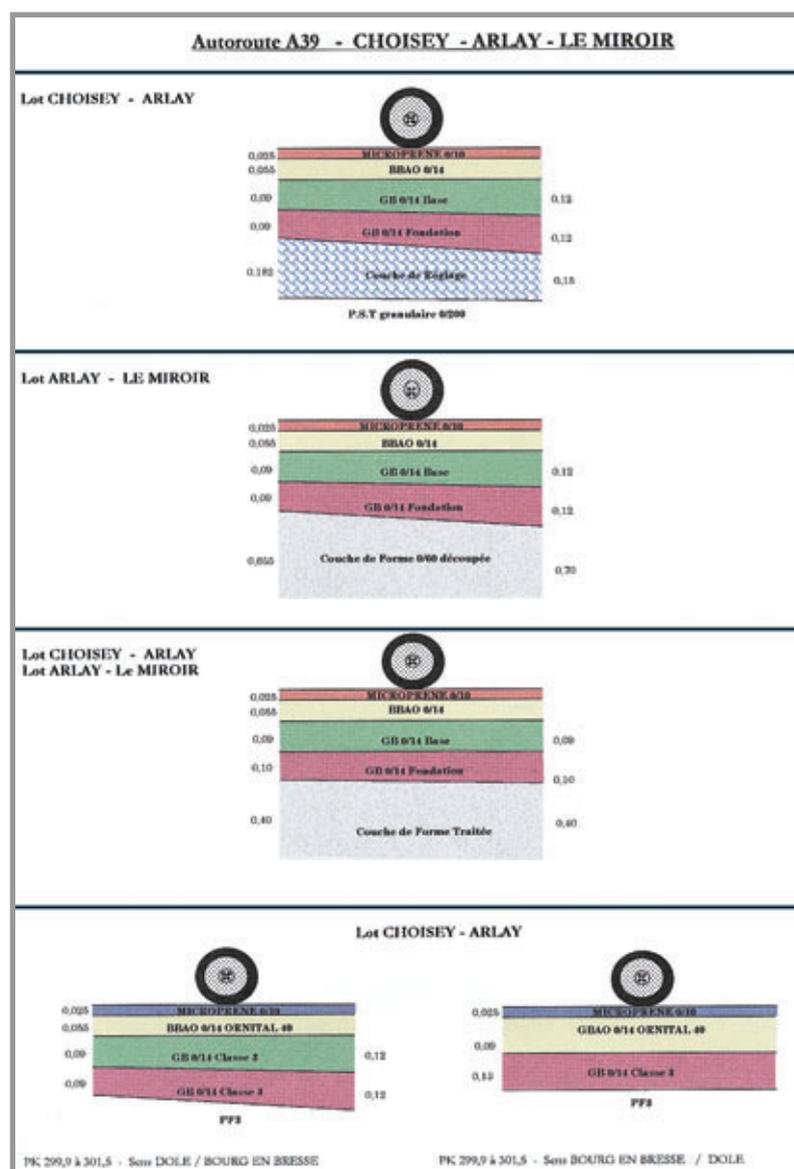


Figure 2
Structures de chaussées. Profils en travers types

Pavement structures. Typical cross sections

Mise en œuvre
en grande largeur

Full-width
application

Photo 2



ouvertes spécifiquement pour la durée des travaux), soit par l'entreprise à partir de carrières locales (carrière de Monnières pour les granulats d'assises, carrières de Corbigny et d'Orsa Vincent pour les agrégats de couche de roulement). Le bitume des couches d'assises et de liaison est du Viatotal 35/50 provenant de la raffinerie de Reichstett, le bitume de base pour la couche de roulement au bitume modifié est du Viatotal 180/220 en provenance de la raffinerie de La Mede. Cinquante mille tonnes de bitume ont été utilisées sur ce chantier, ce qui représente la quantité de bitume transporté par deux mille camions citernes (tableau I).

LES MOYENS

Devant l'importance des travaux à réaliser, les délais très courts, les quantités impressionnantes de matériaux à fabriquer et à mettre en œuvre, l'entreprise a mis en place des moyens de production importants afin de faire face au projet. Sur le lot nord, un poste d'enrobage Ermont TSM 25 Major d'une capacité de 500 à 600 t/h a été installé dans un premier temps sur la plate-forme de Mantry afin de réaliser la moitié sud du lot. Puis, ce poste a été transféré sur l'aire de fabrication de Parcey afin de réaliser l'autre moitié. Sur le lot centre, deux postes d'enrobage Ermont TSM 25 Senior d'une capacité cumulée de 900 à 1000 t/h ont été installés sur l'aire de Desnes pour fabriquer la grave bitume et le béton bitumineux de liaison pour le lot entier, ainsi que le BBTM de la couche de roulement pour la totalité des deux lots. Le record journalier de production d'enrobé est de 5015 t (sur 10 heures).

Le linéaire journalier important de mise en œuvre du BBTM (3000 à 4000 m) nécessitait la fourniture de 140 t/j de bitume modifié. Pour faire face, l'entreprise a installé sur l'aire de Desnes une unité mobile de fabrication de Flexoprène, bitume modifié aux polymères.

Les moyens de mise en œuvre ont été à la hauteur

des capacités de production. On retiendra principalement : deux ateliers de mise en œuvre de configuration "grands travaux" composés d'un alimentateur en continu Franex F 392, d'un finisseur grande largeur (8,50 à 11,50 m) Vögele Super 2500 équipé d'une table à haut pouvoir de compactage (HPC), de trois compacteurs double bille Dynapac CC 501. Pour la réalisation des extrudés, la Star a utilisé deux machines à coffrage glissant : une Miller Formless 8100 et une Challenger CMI 2000 (cf. Les principaux moyens).

UNE ORGANISATION IMPORTANTE

Deux directions travaux de l'entreprise ont réalisé les travaux, soit un effectif de 200 personnes au plus fort de l'activité. A côté de la production et de la mise en œuvre grande cadence d'enrobés, l'encadrement a géré également les travaux de VRD des aires et du centre d'entretien du lot centre, tous les assainissements de surface, les bétons extrudés, la mise en œuvre de la GNT sur les bandes d'arrêt d'urgence et les bandes dérasées gauche (deux *spreaders* déportés ont été utilisés). La quantité importante de terre végétale (1 135 000 m³) destinée à la végétalisation du terre-plein central, des cunettes et des bermes et accotements, en modelage de nombreux dépôts a nécessité l'emploi de moyens en matériels importants (jusqu'à douze pelles à pneus ou à chenilles) ainsi qu'une organisation en personnel adaptée.

La réalisation des extrudés d'assainissement (cunettes, caniveaux) a été effectuée par la Star, qui avait mis en place une cellule de suivi des travaux spécifique qui fonctionnait en parallèle des deux directions de travaux. La Star a également réalisé les glissières de sécurité en béton extrudé sur les deux lots ainsi que, sur le lot nord, la fourniture et pose de glissières de sécurité métalliques sur la section courante et glissières bois sur les aires de repos (Rahon et Colonne). De plus, au niveau de la plaine alluviale, confluence du Doubs et de la Loue, (extrémité du lot nord côté Dole), le maître d'œuvre a demandé à la Star de réaliser des glissières de sécurité en béton extrudé de couleur teinté pleine masse, afin de réaliser une bonne intégration de l'infrastructure dans le paysage traversé. La pose des glissières métal et bois a nécessité trois équipes de personnel en moyenne avec un maximum de six.

Un chantier de cette dimension génère habituellement de nombreuses difficultés. On pourra retenir :

- ◆ les différentes natures de terre végétale (agricole, forestière...) qui ont nécessité une gestion pointue puisque pour un même ouvrage (les cunettes végétalisées par exemple), plusieurs types de terre végétale étaient utilisés ;

LES PRINCIPAUX MOYENS MIS EN ŒUVRE

- 3 postes d'enrobage Ermont TSM 25 Senior et Major
- 6 chargeurs Caterpillar 950
- 1 unité mobile de fabrication de liant modifié
- 2 alimentateurs Franex F 392
- 2 finisseurs Vögele Super 2500
- 2 finisseurs Vögele Super 2000
- 2 finisseurs Vögele Super 1700
- 6 compacteurs Dynapac CC 501
- 4 compacteurs Caterpillar GB 624 et PS 500
- 1 autograde CMI
- 4 niveleuses de type Caterpillar 14 G
- 12 pelles à pneus ou à chenilles
- 80 camions semi-remorques
- 2 machines pour béton extrudé Miller Formless 8100 et Challenger CMI 2000

◆ la "différence de dimension" de certains travaux; en effet, se sont côtoyés sur le chantier des travaux à cadence autoroutière (section courante, diffuseur...) nécessitant du personnel propre à Grands Travaux Beugnet rompus aux productions élevées, et des travaux à faible cadence (aires de service, de repos...) faisant appel à un personnel ayant d'autres types de compétence. C'est pour cette raison que de nombreuses entreprises régionales sont intervenues pendant la réalisation des travaux; la planification, la coordination et le suivi des travaux étaient cependant toujours assurés par de l'encadrement de Grands Travaux Beugnet.

Le maître d'ouvrage SAPRR a mis en place en collaboration avec le Setra, le ministère de l'Équipement et des Transports et les collectivités territoriales locales un observatoire des effets de l'infrastructure A39 sur le développement économique et l'environnement des départements traversés, mesurant entre autre l'impact économique pendant les travaux. Sur A39, comme sur chacun de ses chantiers, Grands Travaux Beugnet fait appel régulièrement aux entreprises, fournisseurs locaux. Dès la phase de construction, une autoroute est donc un axe de développement dont l'impact sur l'économie locale est positif et non négligeable.

■ LES SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

Neuf études de formulation d'enrobés, trois études de formulation de grave non traitée ont été réalisées par l'un des deux laboratoires centraux du groupe SCR Beugnet : le laboratoire de Mont-Saint-Eloi (près d'Arras). Quatre essais de fatigue et de module complexe se sont ajoutés. Ce nombre important d'études est dû aux différentes origines des agrégats entrant dans chaque formulation. Les GNT 0/15 Desnes (fourniture SAPRR) sont de type A compacité (80 % OPM) selon la norme NF P 98-129. Les GB 0/14 de fondation et de base sont de classe 3 module de richesse (2,8) selon la norme NF P 98-138, avec comme spécification complémentaire une déformation 6 (10 °C, 25 Hz) 105 def; elles sont réalisées à partir d'un bitume de grade 35/50.

Les BBLAO 0/14 sont conformes à la norme NF P 98-130 avec comme spécification complémentaire un taux d'ornière à 30 000 cycles (à 5 %). Afin de respecter ce seuil, le laboratoire central a formulé un enrobé réalisé à partir de bitume 35/50, auquel on ajoutait un additif antiorniérante à base de polyéthylène basse densité, issu du recyclage de flacons plastiques, qui, après un processus de fabrication spécifique, permet d'obtenir un produit pur à 95 %. D'un aspect de lentilles de 5 mm, il est facilement dosable en volume et s'introduit dans le tambour sécheur malaxeur au moment

GRANULATS				
UTILISATION	TYPE DE COUCHE	QUANTITE	ORIGINE	FOURNIS PAR
Grave Non Traitée 0/15	Réglage couche de forme Bande d'arrêt d'urgence Bande d'érase gauche	800 000 T	Extraction sur le site autoroutier	100 % SAPRR
Grave Bitume 0/14	Assises de fondation et de base	670 000 T	Extraction sur le site Carrière de MONNIERES	74 % SAPRR 26 % Entreprise
Béton Bitumineux de Liaison Antiorniérante 0/14	Couche de liaison	250 000 T	Extraction sur le site Carrière de MONNIERES	74 % SAPRR 26 % Entreprise
Béton Bitumineux Très Mince 0/10	Couche de roulement	100 000 T	Carrière de CORBIGNY Carrière ORSA VINCENT	100 % Entreprise
Terre Végétale	Accotements Cunettes Terre plein central	1 135 000 m ³	Extraction sur le site	100 % SAPRR

PRODUITS MIS EN ŒUVRE	
NATURE	QUANTITE
Enrobés	1 020 000 T dont 1 800 000 m ³ de MICROPRENE
Béton extrudé d'assainissement	5 500 m ³
Glissières métalliques	105 km
Glissières béton	17 km dont 5 km de béton coloré pleine masse
Glissières bois	6 km
Bitume	50 000 T dont 5 600 T de FLEXOPRENE
Couche d'accrochage	4 700 000 m ³

Tableau I
Les principales quantités

Main quantities

de l'enrobage granulats - bitume. Pour un dosage de l'ordre de 6 à 8 kg à la tonne d'enrobé, le taux d'ornière à l'étude de formulation est de l'ordre de 4,5 % (30 000 cycles). Mille six cents tonnes de ce produit ont été utilisées sur la quasi totalité du chantier à l'exception de la zone du PK 299.887 au PK 301.49 sens Dole – Bourg où le caractère antiorniérante du béton bitumineux de liaison a été obtenu par l'emploi du bitume Ornital 40. Les études des enrobés (BBLAO et GBLAO) formulés avec de l'Ornital 40 ont été réalisées par le Centre européen de recherches de Total situé à Gonfreville (taux d'ornière de l'ordre de 4 % à 30 000 cycles).

Le BBTM 0/10 est conforme à la norme NF P 98-137 avec comme spécificité complémentaire pour le gravillon 6/10 (carrière de Corbigny) un coefficient de Polissage accéléré > 0,50 (sans règle de compensation) et une macrorugosité en place comprise entre 0,8 et 1,4 mm. Après une formulation spécifique permettant d'utiliser un sable 0/3 silico-calcaire extrait localement (carrière de Orsa Vincent), le laboratoire central a formulé un Microprène de granularité 0/10 discontinu 3/6, mis en œuvre sur la totalité des 73 km.

Deux natures de couches d'accrochage ont été utilisées :

◆ aux interfaces GB/GB et GB/BBLAO, l'Emulpropre A, émulsion cationique à rupture rapide, a permis de répondre parfaitement (en plus du collage) aux craintes de Scetauroute en regard de la pollution accidentelle du milieu naturel suite à un problème de rupture mal maîtrisée ;

◆ à l'interface BBLAO/BBTM, l'Emulpropre P, émulsion modifiée à rupture rapide, développée spécifiquement par le laboratoire de Rillieux afin de répondre à la fois au CCTP qui demandait une émulsion modifiée aux polymères et pour satisfaire les contraintes environnementales.



Centrales d'enrobages.
Aire de Desnes

Asphalt mixing plants.
Desnes area

Photo 3

Tableau II
Les principales caractéristiques de la chaussée
Main features of the pavement

MATERIAUX	COUCHE	% VIDE	% BITUME	
DESNES	Grave Bitume Fondation Q14	4,7	4,91	TL théorique = 4,90
	Grave Bitume Base Q14	4,5	4,84	TL théorique = 4,90
	BB Liaison Anti Orniérage Q14	5,6	5,30	TL théorique = 5,40
MORNIERES	Grave Bitume Fondation Q14	7,0	4,46	TL théorique = 4,90
	Grave Bitume Base Q14	7,0	4,51	TL théorique = 4,90
	BB Liaison Anti Orniérage Q14	5,4	5,22	TL théorique = 5,20

MACRORUGOSITE MICROPRENE Q10				
Hsv moyen	Ecart Type	Mini	Maxi	CCTP
1,21	0,1	1,0	1,4	de 0,8 à 1,4

UNI APL NBO Couche de Roulement						
	PO		MO		GO	
CCTP	95% >= 7	100% >= 8	95% >= 8	100% >= 7	95% >= 8	100% >= 7
CHAUSSEE	100%	100%	100%	100%	96%	100%

► ■ LE SUIVI QUALITÉ ET TECHNIQUE

Des critères qualitatifs et techniques rigoureux conjugués à des cadences élevées ont nécessité la mise en place d'une structure qualité importante. Deux ingénieurs assurant la fonction de responsable technique et correspondant qualité ont effectué le suivi qualité et technique de tous les travaux, en collaboration très étroite avec chacune des deux directions de travaux. Pour la réalisation des essais de conformité réalisés dans le cadre du plan de contrôle intérieur, ils étaient assistés par une cellule laboratoire de chantier unique, composée d'un responsable laboratoire, de deux techniciens supérieurs, de deux laborantins et de deux à quatre aides laborantins. Elle a réalisé tous les essais relatifs aux chaussées, ainsi que tous les contrôles de conformité et de convenance sur le béton extrudé réalisé par la Star. Le rôle principal de la cellule laboratoire est de réaliser les essais en veillant au respect des normes et des procédures, tout en gardant une fonction d'alerte en cas de dérive significative. Le traitement des résultats des essais de conformité est effectué par les responsables techniques et/ou les chefs de travaux, responsables du contrôle interne. Comme les responsables techniques, la cellule laboratoire dépend uniquement de la direction technique de Grands Travaux Beugnet, en toute indépendance vis-à-vis de la direction de travaux.

Ce chantier a été l'occasion pour Grands Travaux Beugnet de mettre en place un nouveau mode de fonctionnement et un nouveau concept pour le laboratoire :

- ◆ installation dans des bâtiments;
- ◆ mise en place de salles d'essais bien distinctes (salle de réception granulats, essais granulats, essais bitume, essais enrobés);
- ◆ investissements dans du matériel de réception automatisé;

- ◆ mise en place de procédures d'essais et d'éta-lonnage;
 - ◆ raccordement du matériel à des étalons primaires, mise en place d'étalons secondaires;
 - ◆ traçabilité des échantillons;
 - ◆ renouvellement complet du parc de nucléodensimètres (utilisation de GPV 3/8 et 10/22).
- Ces investissements ont pour objectif de démontrer au maître d'œuvre que le niveau de compétence et de qualité requise est atteint, et qu'il est préférable d'effectuer un nombre d'essais moindre donnant un "résultat vrai" que beaucoup d'essais dont la reproductibilité et répétabilité sont incertaines. Ces dispositions, qui s'associent à la démarche qualité de l'entreprise, sont à confronter avec l'inflation actuelle du nombre de contrôles demandés par les CCTPs.

La démarche que Grands Travaux Beugnet a mise en place sur ce chantier s'inscrit parfaitement dans la politique qualité du groupe (toutes les filiales ont engagé une démarche qualité ISO ou TP Qualité).

■ LES CARACTÉRISTIQUES FINALES DE LA CHAUSSEE

Les moyennes de compacité, teneur en liant, hauteur au sable sur les 73 km de chaussée sont parfaitement conformes aux spécifications des marchés. L'uni longitudinal (mesuré à l'analyseur de profil en long NBO - APL 72) et l'orniérage ont fait l'objet d'une attention et d'un suivi tout particulier. Grâce aux moyens en matériel et aux modes de guidage altimétrique définis et utilisés par l'entreprise, l'uni obtenu procure un confort de roulement excellent. Par exemple, la note en ondes courtes est de 100 % > 7. En ce qui concerne l'orniérage, les études de formulation ont été confirmées. En effet, afin de vérifier le comportement de la couche de liaison, des découpes de plaques de BBLAO ont été effectuées sur chantier. L'orniérage mesuré :

- ◆ sur le BBLAO matériaux de Desnes (base Viatotal 35/50 + 0,6 % de polyéthylène) est 2,5 % à 100 000 cycles;
- ◆ sur le BBLAO matériaux de Desnes (base Viatotal 35/50 + 0,8 % de polyéthylène) est 2,9 % à 100 000 cycles (tableau II).

■ DES MARCHÉS À GARANTIES DE RÉSULTATS

Les marchés "Chaussées" des deux lots sont assujettis à la garantie légale de un an complétée d'une garantie particulière de cinq années sur le complexe BBLAO/BBTM. Cette obligation de résultats concerne les points suivants :

- ◆ collage des couches BBLAO/BBTM;
- ◆ uni de surface;
- ◆ glissance BBTM;

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône (SAPRR)

SECTION CHOISEY – ARLAY (36,3 KM) ANTENNE DE PULIGNY (4,8 KM)

Chaussées - Assainissement

Maître d'œuvre

Scetauroute Rhône Alpes Bourgogne
- Agence de Dijon

Entreprises

- Grands Travaux Beugnet
- Star

SECTION ARLAY - LE MIROIR (32 KM)

Chaussées - Assainissement et VRD des points particuliers

Maître d'œuvre

Scetauroute Rhône Alpes Bourgogne
- Direction de Projet A 39

Entreprises

- Grands Travaux Beugnet
- Star

- ◆ orniérage (5 % sur le complexe BBLAO/BBTM);
- ◆ fissuration, vieillissement, nids de poule, départ en plaque, ressuage du BBTM.

Avec la réalisation simultanée de la section Berck – Boulogne de l'autoroute A16, celle des chaussées de l'autoroute A39 Dole – Bourg-en-Bresse a permis à Grands Travaux Beugnet de démontrer, une fois de plus, sa capacité à exécuter des linéaires importants de "grands travaux". Malgré un contexte économique ultra concurrentiel, la réalisation de ces 73 km représentant plus d'un million de tonnes d'enrobés mis en œuvre dans des délais courts s'est déroulée parfaitement, en étroite collaboration avec le maître d'œuvre Scetauroute et à la grande satisfaction du maître d'ouvrage, la Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône.



Coulage de glissière béton armé
Pouring a reinforced-concrete crash barrier

Photo 4

ABSTRACT

**Motorway A 39.
Over 70 kilometres
of pavements between Dole
and Bourg-en-Bresse**

E. Sapin

Between December'96 and June'98, Grands Travaux Beugnet completed 73 km of motorway pavements, including drainage, safety equipment and related structures. This route forms part of the A 39 Dole - Bourg-en-Bresse section to which special care was given as concerns the insertion of the motorway within its surroundings.

Over 3 million metric tons of materials and 50,000 t of bitumen were used on this project, and a million t of asphalt applied. At the peak of the project's activity, over 200 people were working on the project.

Grands Travaux Beugnet, with its own resources and those of the group, was able to deliver within the very short deadlines a structure whose quality is acknowledged and appreciated by both client and users.

DEUTSCHES KURZREFERAT

**Autobahn A 39. Über 70 km
Fahrbahn zwischen Dole
und Bourg-en-Bresse**

E. Sapin

Von Dezember 1996 bis Juni 1998 hat das Unternehmen Grands Travaux Beugnet 73 km Autobahnfahrbahn komplett mit Abwassertechnik, Sicherheitsausrüstungen und Nebenanlagen gebaut. Diese Strecke gehört zum Abschnitt Dole – Bourg-en-Bresse der A 39, bei dem besonderer Wert auf die Integration der Autobahn in die Umwelt gelegt wurde.

Mehr als 3 Millionen Tonnen Baustoffe und 50000 t Bitumen sind auf der Baustelle verarbeitet worden, und eine Million t Asphalt sind aufgebracht worden. Zu Spitzenzeiten waren 200 Personen auf der Baustelle beschäftigt.

Grands Travaux Beugnet konnte dank ihrer Eigenmittel und der Mittel der Gruppe innerhalb des sehr engen Terminrahmens ein Bauwerk liefern, das Abnehmer wie Verkehrsteilnehmer optimal zufriedenstellt.

RESUMEN ESPAÑOL

**Autopista A 39.
Más de 70 kilómetros
de pavimentos, entre Dole
y Bourg-en-Bresse**

E. Sapin

Entre diciembre de 1996 y junio de 1998, la empresa Grands Travaux Beugnet ha construido 73 km de pavimentos de autopistas e inclusive, las obras de saneamiento, equipos de seguridad y estructuras complementarias. Este itinerario forma parte de la sección A 39 Dole - Bourg-en-Bresse, para el cual se ha puesto particular cuidado en cuanto a la inserción de la autopista en su propio entorno.

Se han empleado en estas obras más de 3 millones de toneladas de materiales y 50 t de betún y se ha aplicado un millón de toneladas de aglomerados. En el punto crítico de la actividad desarrollada, actuaban en las obras 200 personas.

Grands Travaux Beugnet, con sus propios medios y aquellos del grupo, ha estado en condiciones de hacer entrega de estas obras dentro de los plazos impartidos, sumamente estrictos, cuya calidad ha sido favorablemente valorada por el cliente y los automovilistas.

Renforcement de chaussées sur

Le renforcement des chaussées de l'autoroute A26 en dalles épaisses de béton de ciment est réalisé selon une technique particulière qui consiste à fracturer en place les dalles, s'en servir de couche de fondation et réaliser ensuite un rechargement en enrobés performants de type enrobé à module élevé (EME).

Ce chantier était double puisqu'il a eu lieu sur deux sites différents et simultanément. Ceci a conduit à doubler les moyens de fabrication, les équipes et les ateliers de mise en œuvre.

Le phasage des travaux effectués sous circulation, a imposé des cadences élevées de jour et de nuit.

Les moyens mis en place et le savoir-faire des entreprises ont permis de relever avec succès ce challenge.

■ SITUATION ET OBJET DES TRAVAUX (figure 1)

Entre Calais et Troyes l'autoroute A26 parcourt 338,5 km et permet ainsi de relier la Manche à la Méditerranée en contournant Paris. La première section de l'A26 a été ouverte en décembre 1976 entre Lillers et Lievin dans le Pas-de-Calais. En 1989, l'axe Calais-Reims était terminé et en 1992, la liaison Chalons-Troyes marquait l'achèvement de la construction de l'autoroute.

Les sections de travaux concernées par ce chantier sont situées :

- ◆ entre les sorties de Marquion et Manières sur le district de Cambrai entre les PK 131 + 200 et 143 + 200 dans les deux sens de circulation ;
- ◆ entre les sorties Saint-Quentin Nord et Saint-Quentin Sud entre les PK160 + 100 et 176 + 500 dans les deux sens de circulation.

Au total ce sont 28 km d'itinéraire qui viennent s'ajouter aux 17 km de travaux identiques déjà réalisés en 1997.

Le problème technique posé

Ces sections avaient été construites avec des dalles épaisses en béton de ciment, à l'époque technique courante en Allemagne mais encore inédite en France.

Le surdimensionnement des dalles de béton (27 à 37 cm d'épaisseur) permettait d'économiser la couche de fondation en béton maigre ou en grave traitée sur laquelle étaient mises en œuvre traditionnellement les dalles californiennes de 20 à 25 cm d'épaisseur.

La dalle épaisse reposait sur un matériau drainant destiné à évacuer toute eau d'infiltration et constitué, soit d'une moquette drainante (géotextile) ou par 10 cm de grave concassée 6/20.

Au bout d'une dizaine d'années, les premières dégradations ont commencé à apparaître : affaissements et décalages de dalles, battements allant jusqu'à 3 mm au droit des joints, épaufrures et nids de poule entre voies lentes et BAU et puits de pompage matérialisés par la remontées de fines et de boues.

Une étude menée en commun par la Sanef, le LRPC de Lille et le LROP de Trappes a permis d'évaluer l'état de la chaussée et de proposer des solutions de rénovation efficaces. Les principales causes de dégradations mises en évidence étaient les suivantes :

- ◆ un trafic lourd plus élevé que celui qui avait été prévu au moment de la conception des chaussées (à noter que ces sections d'autoroute ont été mises en service pendant 15 ans) ;
- ◆ une érodabilité importante de la couche de forme constituée de schistes rouges, de craie et de limon traités ;
- ◆ une couche drainante qui ne remplissait plus sa fonction, mais au contraire faisait office de réservoir d'eau (mauvaise résistance à l'attrition des matériaux 6/20) ;
- ◆ l'absence d'un drainage latéral lors de la construction ;
- ◆ une surlargeur de dalle trop réduite.

Deux solutions furent proposées nécessitant des travaux importants :

- ◆ l'une consistait à reconstruire les voies lentes après décaissement ;
- ◆ l'autre, moins coûteuse, consistait à fracturer en place les dalles de béton, s'en servir comme fondation et recharger la chaussée en enrobés performants (SE, EME puis BBTM). Ceci évitait l'évacuation de matériaux et l'apport de matériaux de substitution en couche d'assise.

Photo 1
Fracturation des dalles : planche d'essai
Breaking of slabs : test section



Photo 2
Mesures de déflexions sur dalles fracturées
Broken slab deflection measurements





l'autoroute A 26

Plus économique et permettant une réalisation sous circulation dans des délais réduits, cette solution a été retenue par la Sanef qui a lancé dès 1997 un programme de rénovation sur 3 ans des sections concernées.

■ STRUCTURE PROPOSÉE - FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE

Comme pour le chantier précédent, après fracturation des dalles de béton en place avec une machine spécifique, la structure retenue consiste en un sable-enrobé anti-remontée de fissures (2 cm), un enrobé à module élevé (11 cm) faisant office de couche de base et de liaison et enfin, un BBTM comme couche de roulement.

Fracturation des dalles de béton

(photo 1)

Après des essais comparatifs entre deux types de matériel, le procédé de la société SAT France a été retenu. La machine Wirtgen 7 000 utilisée fonctionne comme un guillotine en laissant tomber une seule masse de 7 t depuis une hauteur de 1,05 m, ceci tous les 70 cm en deux passes par dalle. Cette procédure a permis d'obtenir cinq morceaux indépendants par dalle sans altérer l'état de surface et notamment des épaufrures ou des éclats importants.

La fragmentation consistait à fissurer en travers la dalle de béton en place de manière à la stabiliser. Dans ces conditions, les dalles fracturées restaient circulables, ce qui était l'objectif visé.

Les mesures de déflexion à la poutre Benkelman après la fracturation étaient fonction de plusieurs critères (photo 2) :

- ◆ la qualité hétérogène du support des dalles ;
- ◆ l'effet de la température sur la forme des dalles tout au long de la journée.

Après fracturation, l'état de surface était contrôlé. Si un décalage de dalles était observé, à l'axe par exemple, un rabotage longitudinal avec enlèvement du joint entre dalles était entrepris.

Fabrication et mise en œuvre du sable-enrobé anti-fissures 0/6

Après répardage sur les dalles de béton fracturées d'une couche d'accrochage constituée d'une émulsion ECR 65 à raison de 400 g/m² de bitume ré-

siduel suivi d'un léger gravillonnage (3/5 lavé du Boulonnais), venait la mise en œuvre du sable-enrobé anti-fissures.

La fabrication s'est effectuée avec les deux postes d'enrobage Ermont (TSM 25 Senior et Major) (photo 3).

Le Polybilt, dosé par un doseur pondéral à dépepage placé près du tambour du TSM Senior, était incorporé dans le tambour par air pulsé directement au niveau de la sortie de la canne à bitume (photo 4).

La mise en œuvre s'est faite au finisseur Vögele S 1800 équipé de cales pour le réglage de l'épaisseur, suivie du compactage par des CC 501 et CC 522 fonctionnant en lisse (quatre passes).

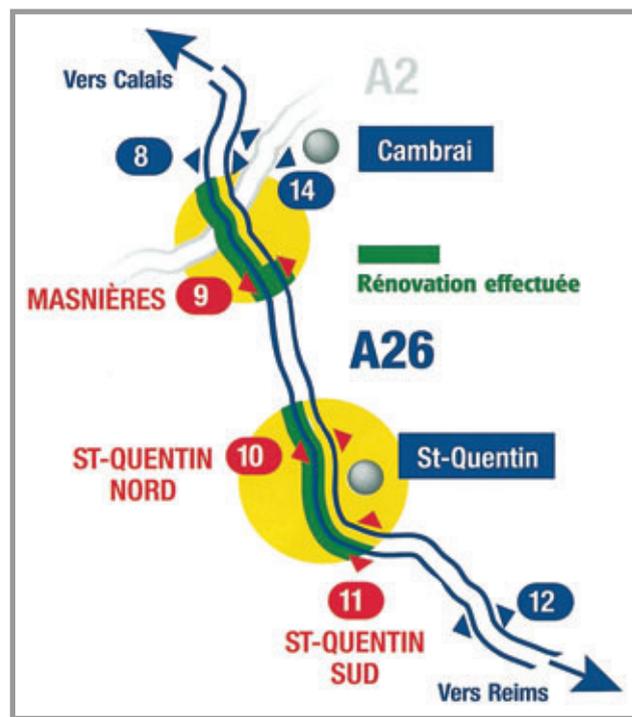


Figure 1
Plan de situation
du chantier

Location
of project



Photo 3
Centrales d'enrobage
sur l'aire de Lempire
Asphalt mixing plants
at the Lempire area



Photo 4
Dispositif de dosage du Polybilt
Polybilt proportioning system

Photo 5
Planche d'essai ECF
+ fibres

*Test section using
microsurfacing + fibres*



Photo 7
Mise en œuvre BBTM

Application of BBTM (white-topping)



Photo 6
Planches d'essai EME (enrobé à module élevé)
EME (high modulus asphalt) test section

LE MATÉRIEL UTILISÉ

Fracturation des dalles

- Machine Wirtgen 7 000

Centrales d'enrobage

- Centrale Ermont TSM 25 Major 550 t/h
- Centrale Ermont TSM 25 Senior 450 t/h

Finisseurs

- 2 Vögele S 2500 avec tables HPC de 11 m de large
- 1 Vögele S 1800 avec table de 8 m de large

Alimentateurs

- 2 Franex

Compacteurs

- 4 Dynapac CC 501 et 3 Dynapac CC 522

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Fragmentation des dalles de béton et complexe anti-fissure en sable enrobé : 250 000 m²
- EME 0/10 de liaison : 200 000 t
- Granulats calcaires du Boulonnais
- BBTM 0/10 de roulement : 40000 t
- Granulats quartzites de La Roche Blain (Calvados) - Carrière du groupe Générale Routière

A noter qu'une planche d'essai a précédé les travaux en utilisant un ECF 0/4 armé de fibres de verre et dénommé par Routière Morin "Anticrac 100 RM" (photo 5).

Fabrication et mise en œuvre de l'Enrobé à Module Elevé 0/14

(photo 6)

Fabriqué à partir du TSM 25 Senior, l'EME 0/14 a été appliqué en 11 m de largeur au finisseur Vögele S 2500 avec table HPC muni d'une cassure de table pour la réalisation simultanée de la BAU. L'atelier était équipé d'un alimentateur en continu de type Franex et le compactage était assuré par deux CC 501 (deux passes en lisse et huit passes en vibrant) et un CC 522 (quatre passes en lisse).

Fabrication et mise en œuvre du BBTM 0/10

(photo 7)

La fabrication et la mise en œuvre du BBTM ont été réalisés dans les mêmes conditions que ceux de l'EME. Le compactage s'est fait par deux CC 501 et un CC 522 (six passes en lisse).

LES ÉTUDES DE FORMULATION

Le sable-enrobé 0/6

Le sable-enrobé est un véritable mastic comportant 15 % de fines et 10 % de liant bitumineux qui doit jouer le rôle de retardateur de remontée de fissures. Les premières applications de cette technique par Routière Morin remontent au chantier de l'A16 Nord

en 1995. Puis en 1997, sur l'A 86 en Seine-Saint-Denis, ce sont 6500 m² qui ont été mis en œuvre. La formulation du sable-enrobé de 2 cm d'épaisseur, étudiée par le LRPC de Saint-Quentin est donnée sur le tableau I.

Pour constituer un mastic qui retardera efficacement la remontée des fissures, il faut utiliser un bitume mou de grade 70/100 auquel on ajoute un polymère permettant d'améliorer les performances mécaniques du mélange en matière de déformabilité.

Le choix du polymère s'est porté sur le Polybilt 103 mis au point par Exxon Chemical.

La performance anti-remontée de fissures est mesurée par l'essai de retrait-flexion qui a été réalisé par le LRPC d'Autun.

La valeur obtenue était de $r = 1,35$ ce qui classe le produit parmi les complexes "efficaces".

Le tableau II récapitule les résultats des contrôles de fabrication et de mise en œuvre.

■ L'ENROBE À MODULE ÉLEVÉ, EME 0/14

La couche de base était constituée d'un produit structurant dont le module et la résistance à l'ornièrage devaient être élevés.

La Sanef a porté son choix sur un EME 0/14 conforme à la norme NF P 98.140 avec moins de 5 % d'ornièrage à 60 °C et à 30000 cycles.

Une étude de laboratoire a démontré qu'avec les matériaux choisis pour le chantier (calcaires du Boulonnais) et la formulation pressentie, il fallait, toutes choses égales par ailleurs, utiliser un bitume plus dur que le bitume de grade 20/30 préconisé dans le marché pour pouvoir répondre aux exigences en module complexe, déformabilité et ornièrage.

Avec l'accord de la direction Technique de la Sanef, soucieuse du niveau des performances du produit, le choix du liant s'est porté sur un bitume spécial 10/20 S fourni par BP.

L'étude de formulation réalisée dans le laboratoire BP de Dunkerque agréé Cofrac a donné des résultats d'essai satisfaisants :

◆ ornièrage : 4,9 % d'ornièrage à 60 °C et à 30000 cycles ;

◆ module complexe : $E = 18\,700$ MPa à 15 °C, 10 Hz ;

◆ fatigue : $\epsilon_6 = 132$ μdef à 10 °C, 25 Hz.

La formulation de l'EME 0/14 mis en œuvre en 11 cm d'épaisseur est reportée sur le tableau III.

Le tableau IV récapitule les résultats des contrôles de fabrication et de mise en œuvre.

■ LE BBTM 0/10

Le BBTM 0/10 était constitué de matériaux quartzitiques de la carrière de La Roche Blain (Calvados)

qui fait partie du groupe Générale Routière. Le liant utilisé était le "Practiplast M 40" mis au point par BP et dont l'avis technique pour son application aux BBTM et BBM est en cours d'édition.

Ce liant modifié par des polymères de types EVA et PIB apporte à l'enrobé des performances accrues en résistance au cisaillement et à l'agressivité du trafic lourd.

La formulation du BBTM 0/10 mis en œuvre en 2,5 cm d'épaisseur est reportée sur le tableau V. Le tableau VI récapitule les résultats des contrôles de fabrication et de mise en œuvre.

■ PHASAGE DU CHANTIER

Les travaux se sont déroulés entre le 30 mars et le 18 juin 1998, soit en 49 jours sur la section Marquion - Masnières et en 66 jours sur la section Saint-Quentin Nord – Saint-Quentin Sud.

Les temps records d'intervention ont permis d'éviter les grandes migrations estivales de l'été pendant lesquelles le trafic passe sur l'A26 à environ 17000 véhicules/jour, tandis que la moyenne journalière annuelle est de 13200 véhicules.

Avec l'aide efficace des deux chefs de district de Saint-Quentin et de Cambrai, Routière Morin a mis au point un planning de travaux très serré permettant d'optimiser les basculements de circulation et les opérations conséquentes de balisage et de débaisage.

Le principe de cette organisation reposait sur la conduite de front des deux chantiers, indépendamment l'un de l'autre et par deux équipes distinctes.

Une première phase de travaux préparatoire a été menée par l'entreprise Arbex et sous circulation entre le 9 et le 30 mars. Il s'agissait de rehausser les caniveaux en béton extrudé de manière à les remettre au niveau de la future couche de roulement à + 15 cm.

L'itinéraire a été découpé en tranches de travaux de 6 à 8 km, en huit phases sur le district de Saint-Quentin qui comporte deux diffuseurs, et en douze phases sur le district de Cambrai qui comprenait un diffuseur et un échangeur entre l'A2 et l'A26. Chaque tranche de travaux était neutralisée et la circulation était basculée sur la chaussée opposée. La remise sous circulation des sections achevées s'est faite à l'avancement des travaux dès qu'une section de 2 km était libérée, à savoir la distance entre deux interruptions de terre plein central (ITPC). La fracturation des dalles s'est engagée sous balisage léger avec une signalisation mobile sur camion.

En section courante, les travaux ont été menés entre 5 heures et 21 heures pendant 6 jours par semaine (à l'exception des ponts du mois de mai). Sur chaque diffuseur et dans chaque sens de circulation, le trafic a été interrompu au plus pendant

Matériaux	Proportions
4/6	18 %
0/4	79 %
Fines d'apport	3 %
Bitume pur 70/100 Esso	10,1 ppc
Polybilt 103 Exxon	6 ppc

Tableau I
Formulation du sable enrobé 0/6
0/6 asphalt sand mix design

Contrôles	Spécifications	Résultats obtenus	Conformité	Observations
Fabrication				
% de fines	14,4 %	14 % à 14,6 %	oui	
% de liant	10,10 %	10,04 % à 10,10 %	oui	
Mise en oeuvre				
% de vides	3 % à 6 %	3,6 % à 5 %	oui	par pesées hydrostatiques

Matériaux	Proportions
10/14	28 %
6/10	17 %
4/6	22,5 %
0/4	31,5 %
Fines d'apport	1 %
Bitume 10/20 S BP	5,39 ppc

Tableau III
Formulation de l'EME 0/14
Mix design of 0/14 EME (high modulus asphalt)

Tableau II
Contrôles de fabrication et de mise en œuvre du sable enrobé 0/6
Testing of manufacture and application of 0/6 asphalt sand

Contrôles	Spécifications	Résultats obtenus	Conformité
Fabrication			
% de fines	7,1 %	6,8 % à 6,9 %	oui
% de liant	5,39 %	5,36 % à 5,42 %	oui
Mise en oeuvre			
% de vides	95 % ≤ Duriez (94,3 %)	4,9 % à 5 % de vides	oui

Tableau IV
Contrôles de fabrication et de mise en œuvre de l'EME 0/14
Testing of manufacture and application of 0/14 EME (high modulus asphalt)

Matériaux	Proportions
6/10	72 %
0/2	28 %
Fines d'apport	0 %
Bitume modifié "Practiplast M 40" de BP	5,70 ppc

Tableau V
Formulation du BBTM 0/10
0/10 BBTM (white-topping) mix design

Contrôles	Spécifications	Résultats obtenus	Conformité
Fabrication			
% de fines	7,6 %	7 %	oui
% de liant	5,70 %	5,66 % à 5,69 %	oui
Mise en oeuvre			
HS vraie	HS moyen ≥ 1 mm HS mini ≥ 0,8 mm	1,33 mm à 1,40 mm	oui

Tableau VI
Contrôles de fabrication et de mise en œuvre du BBTM 0/10
Testing of manufacture and application of 0/10 BBTM (white-topping)

36 heures. Pour tenir ce challenge, les équipes se sont relayées jours et nuits entre 21 heures le jour j et 6 heures le jour j + 2 pour la réouverture au trafic.

Par contre, l'échangeur entre l'A2 et l'A26 n'a pas nécessité la fermeture des bretelles.

Pour respecter ces délais très tendus, Routière Morin a dû employer les grands moyens : deux centrales d'enrobage Ermont à grande cadence ont été



installées sur l'aire de Lempire pour la fabrication des enrobés :

- ◆ une TSM 25 Senior de 450 t/h ;
- ◆ une TSM 25 Major de 550 t/h.

Au total, une cadence de production de 1 000 t/h était possible, les deux zones de chantier étant traitées simultanément et indépendamment. Les moyens en matériel et personnel ont donc été doublés.

Les granulats étaient livrés par chemin de fer dans la gare voisine d'Epehy (équipée pour l'approvisionnement de sucreries), puis acheminés par camions sur l'aire de Lempire.

■ CONCLUSIONS

Les moyens en matériel et personnel mis à disposition par l'entreprise (jusqu'à 200 personnes en deux postes entre 6 et 22 heures, 6 jours sur 7) ont permis de réaliser ce chantier dans des conditions satisfaisantes et en un temps record. Il a fallu 37 jours de travail sur les 46 prévus pour le district de Cambrai et 50 jours sur les 62 prévus pour le district de Saint-Quentin. La rapidité d'intervention et les cadences élevées (3 100 t/jour d'enrobés en moyenne), ne se sont pas faites au détriment de la qualité des travaux. Un PAQ de type C a conduit à la réalisation de planches d'essai pour chaque technique envisagée ; contrôles et essais ont été entrepris, 2 000 par l'entreprise et 800 par le LRPC de Saint-Quentin qui assurait le contrôle extérieur pour le compte de la Sanef.

La direction Technique de la Sanef et les deux districts de Cambrai et de Saint-Quentin ont contribué au succès de l'opération grâce au partenariat développé avec l'entreprise Routière Morin, à leur réactivité et leur efficacité.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Sanef - Société des Autoroutes du Nord et de l'Est de la France

Maitre d'œuvre

Sanef - Direction Technique à Senlis

Contrôle extérieur

LRPC de Saint-Quentin

Entreprise mandataire

Routière Morin Grands Travaux (Groupe Générale Routière)

Entreprises sous-traitantes

- SAT France : fracturation des dalles de béton et rabotage
- Pass France : dépose et repose des glissières de sécurité
- Arbex (Groupe Générale Routière) : caniveaux en béton extrudé

ABSTRACT

Overlaying of pavements on motorway A26

Y. Meunier, Fr. Caron

The overlaying of the pavements on motorway A26 made up of thick concrete slabs involved a special technique consisting in breaking up the slabs in place, using them as a sub-base and then applying a high-performance asphalt overlay of the high modulus type (enrobé à module élevé - EME).

This project was characterised by the fact that it took place on two different sites at the same time. This doubled the manufacturing facilities, crews and machinery required. The phasing of work operations under traffic called for high output during the day and at night. The resources and the know-how of the contracting firms made it possible to meet this challenge successfully.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Fahrbahnverstärkung an der Autobahn A26

Y. Meunier, Fr. Caron

Die Verstärkung der Autobahn A26 aus dicken Zementbetonplatten wird nach einer besonderen Technik durchgeführt : Die Platten werden im eingebauten Zustand gebrochen und als Tragschicht benutzt ; anschließend wird diese Oberfläche mit leistungsstarkem Asphalt (mit hohem Modul) instandgesetzt.

Die Bauarbeiten verliefen zweigleisig : an zwei verschiedenen Stellen und gleichzeitig. Daher mußten die Fertigungsmittel, die Mannschaften und die Anlagen verdoppelt werden.

Wegen der Einplanung der Arbeiten ohne Verkehrsunterbrechung waren Tag und Nacht hohe Taktzeiten erforderlich. Dank der eingesetzten Mittel und des Know-hows der Unternehmen konnte diese Herausforderung erfolgreich angenommen werden.

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidación de los pavimentos de la autopista A26

Y. Meunier y Fr. Caron

La consolidación de los pavimentos de la autopista A26 mediante placas de hormigón de cemento de mayor espe-

sor, se ha ejecutado mediante una técnica particular que consiste en fracturar in situ las placas existentes y utilizar éstas como base de firme rígido (subbase) y efectuar acto seguido una recarga de aglomerados de alta calidad del tipo de módulo elevado.

Las obras han sido dobles, ya que han tenido lugar en dos emplazamientos distintos simultáneamente. Lógicamente, ello ha dado lugar a duplicar los medios de fabricación, de las cuadrillas y de los talleres de implementación.

Las diversas fases de las obras efectuadas sin necesidad de interrumpir el tráfico rodado, ha impuesto ritmos de trabajo elevados, diurnos y nocturnos. Los medios implantados y la pericia y experiencia práctica de las empresas han permitido aceptar este reto con el mayor éxito.

L'autoroute M5 en Hongrie

Une concession en Europe centrale

Laurent Dabet
RESPONSABLE
DES ÉTUDES DE M5CJV
Bouygues TP

Olivier Miret
RESPONSABLE
TECHNIQUE DE M5CJV (*)
Bouygues TP



Le premier tronçon d'une autoroute en concession en Hongrie vient d'être terminé par les groupes Bouygues et Bau Holding, quarante-neuf mois après l'obtention de la concession. Il s'agit d'un segment de 97 km de l'autoroute M5 qui part de Budapest en direction de la Serbie, et qui est un maillon essentiel des liaisons avec les Balkans.

La phase travaux a permis l'approbation puis la mise en œuvre de techniques nouvelles pour la Hongrie. La difficulté essentielle n'a cependant pas été technique, mais relationnelle : pendant la période de financement, il fallut mettre d'accord les très nombreux intervenants d'une concession, du concédant aux conseillers techniques en passant par les prêteurs; puis en phase travaux, il a fallu obtenir de nombreuses approbations de toutes les autorités locales touchées de près et de loin par le projet.

Depuis la chute du mur de Berlin, et l'ouverture de l'ancien bloc de l'Est, un des grands axes de la politique hongroise est l'intégration européenne. Sans cesse répété, ce message est émaillé de propositions telles que la privatisation de pans entiers de l'économie, l'implication très forte du secteur privé dans la vie économique, l'ouverture aux investisseurs étrangers, le développement des infrastructures.

L'autoroute M5 est un des résultats visibles de cette politique : maillon essentiel des réseaux autoroutiers européen, et hongrois – environ 200 km existent, 600 km devraient être ouverts au terme du schéma directeur –, son extension en direction de la Serbie s'effectue actuellement grâce à un contrat en BOT (Build Operate Transfer).

L'autoroute M5 quitte la capitale Budapest (2 millions d'habitants), vers le sud, en direction de la frontière avec la Yougoslavie.

Sur une distance de 175 km, elle permettra de relier les villes de Kecskemét (100 000 habitants) en plein développement, Kiskunfélegyháza (35 000 habitants) et la cinquième ville du pays Szeged (185 000 habitants).

Au niveau international, elle se connectera alors sur les routes E75 et E68 qui traversent la Yougoslavie et la Roumanie, reliant ainsi la Grèce et la Turquie à l'Allemagne, l'Autriche, la Slovaquie et la Pologne : c'est un segment d'un axe de transport ouvert entre l'Europe de l'Ouest et la région des Balkans qui fait partie du projet d'autoroute trans-européenne Nord-Sud (TEM - Trans European Motorway) soutenu par la CEE et l'ONU, et s'inscrit dans le corridor de transport paneuropéen n° IV (Berlin - Prague - Bratislava - Budapest - Bucarest - Thessalonique - Istanbul) désigné ainsi, lors de la Conférence européenne sur les Transports de 1994 en Crète.

■ DESCRIPTION DU PROJET

Le projet d'autoroute à deux fois deux voies à péage M5 comprend plusieurs phases. La première phase, qui est maintenant terminée, comportait les quatre étapes de construction suivantes (figure 1).

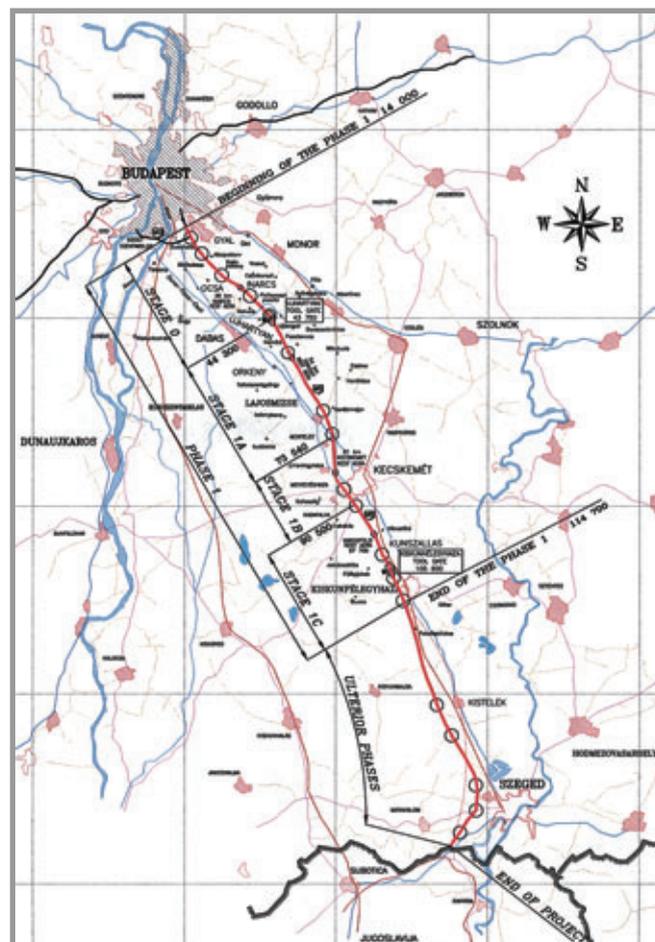


Figure 1
Plan
de situation
Location

Barrière de péage principale Újhartyán

Main toll gate of Újhartyán

Photo 1



Péage sur bretelles isolées Toll station on isolated slip roads

Photo 2



Etape 0

Amélioration et mise en péage d'une section de 27 km de long d'une autoroute en service. Cette section démarre de l'échangeur M0/M5 situé à 17,4 km du centre du Budapest (M0 étant la ceinture autoroutière de Budapest) jusqu'à l'échangeur d'Újhartyán. Les travaux comprenaient essentiellement :

- ◆ la réhabilitation de treize ouvrages ;
 - ◆ le renouvellement de la couche de roulement (rechargement de trois centimètres d'enrobés aux fibres, sur 20 km) ;
 - ◆ la reprise de la géométrie de deux échangeurs ;
 - ◆ la construction des aires de péage : barrière pleine voie d'Újhartyán (vingt voies), et six bretelles d'accès ;
 - ◆ la mise en place d'un réseau d'appels d'urgence ;
 - ◆ la remise en état d'un centre d'opération et de maintenance ;
 - ◆ la construction d'un centre de Police spécifique à l'autoroute,
- le tout sans interruption de la circulation (mise en place d'une déviation autoroutière pour la barrière de péage).

Cette section a été livrée le 21 décembre 1996, après huit mois de travaux.

Etape 1A

Achèvement de la semi-autoroute existante de 30 km de long (exploitée en tant que voie rapide) par construction de la seconde chaussée et mise en péage entre l'échangeur d'Újhartyán et l'échangeur de Kecskemét Nord. Outre la mise à deux fois deux voies de la section, les travaux comprenaient :

- ◆ la construction d'une aire de repos complémentaire ;
 - ◆ la réhabilitation de dix ouvrages ;
 - ◆ la reprise de la géométrie d'un échangeur ;
 - ◆ la mise à péage d'un autre échangeur (deux voies) ;
 - ◆ la mise en place du réseau d'appels d'urgence.
- Cette section a été également livrée le 21 décembre 1996, après huit mois de travaux.

Etape 1B

Construction d'une nouvelle autoroute de 17 km de long en site semi-urbain qui libère la ville de Kecskemét du trafic de transit. Les travaux comprenaient :

- ◆ la déviation des réseaux existants ;
 - ◆ les terrassements et chaussées des 17 km d'autoroute, ainsi que d'une nouvelle route de 6 km ;
 - ◆ la création de trois échangeurs, et d'une aire de repos ;
 - ◆ la construction de treize ouvrages ;
 - ◆ la mise en place de protection contre le gibier et contre le bruit ;
 - ◆ la prolongation du réseau d'appels d'urgence.
- Ce contournement a été mis en service le 6 décembre 1997.

Etape 1C

Construction d'une nouvelle autoroute à péage de 23 km de long à partir de l'échangeur de Kecskemét Sud jusqu'à l'échangeur de Kiskunfélegyháza Sud. Les travaux comprenaient :

- ◆ la déviation des réseaux existants ;
 - ◆ les terrassements et chaussées des 23 kilomètres d'autoroute, ainsi que d'une nouvelle route de 2,5 kilomètres ;
 - ◆ la création de deux échangeurs, et d'une aire de services ;
 - ◆ la construction de neuf ponts ;
 - ◆ la mise en place de protection contre le gibier et contre le bruit ;
 - ◆ la construction d'une barrière pleine voie (dix voies), et d'un centre de maintenance ;
 - ◆ la prolongation du réseau d'appels d'urgence.
- Cette section a été ouverte au public le 9 juin 1998. Cette première phase est mise en place avec un système de péage ouvert basé sur deux gares de péage principales : la première à Újhartyán et l'autre à Kiskunfélegyháza, et huit barrières de péage secondaires sur certaines bretelles.

Les phases ultérieures sont couvertes comme suit par le contrat de concession :

◆ étape 2 : construction d'une nouvelle autoroute de 45 km de long, entre l'échangeur de Kiskunfélegyháza Sud et l'échangeur de Szeged Nord, ainsi que de l'échangeur de Kunszállás sur la section de l'étape 1C ;

◆ étape 3 : construction d'une nouvelle autoroute de 15 km de long de l'échangeur de Szeged Nord au poste frontière de Röszke.

■ CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET SOCIAL DU PROJET

Au début des années quatre-vingt-dix, plusieurs lois ont été ratifiées par le Parlement afin d'établir un solide arrière-plan légal pour les travaux ultérieurs. La loi sur les Concessions (n° XVI/1991), élaborée en liaison avec le ministère des Transports, de la Communication et de la gestion de l'Eau, a été promulguée par le Parlement le 18 mai 1991. Elle a été complétée en 1992 et a permis de financer, à partir du Fond routier, les préparatifs des concessions. L'Etat hongrois a ensuite mis à disposition les éléments suivants :

◆ la conception préliminaire, y compris le permis de construire et l'agrément au niveau de l'environnement pour une autoroute sans péage ;

◆ l'acquisition des terrains, (y compris les emprises supplémentaires requises pour construire les aires de péage) et la livraison gratuite du site à des dates convenues et fixées par le contrat de concession ;

◆ l'apport du début d'autoroute existant (26 km à 2 x 2 voies et 30 km de semi-autoroute à deux voies) ;

◆ la poursuite de l'exploitation des aménagements existants durant la première année de la période de concession (pour permettre à la compagnie concessionnaire de passer le relais de l'exploitation en souplesse) et le prêt à la compagnie concessionnaire du centre d'exploitation et d'entretien existant ;

◆ la construction de nouvelles routes de rabattement à deux voies de circulation : route n° 45 (15 km) et route n° 44 (5 km) rabattant davantage de circulation vers l'autoroute à péage ;

◆ le lancement de mesures techniques de circulation visant à restreindre le trafic de transit des véhicules utilitaires lourds dans les agglomérations qui longent la route principale parallèle à l'autoroute M5.

Le principe général des concessions, tel qu'il est rappelé dans le contrat de concession de M5, est l'obligation faite à la société concessionnaire de restituer gratuitement l'ensemble de l'autoroute en bon état à l'Etat après la période de concession de 35 ans. Tous les actifs (à l'exception des développements secondaires) redeviennent à terme la propriété de l'Etat. Dans ce cadre, Bouygues



**Echangeur
Kecskemét ouest
Kecskemét
west interchange**

Photo 3



**Aire de repos.
Tronçon 1B**

**Rest area.
Section 1B**

Photo 4

et Bau Holding ont donc dû chercher à satisfaire :

- ◆ le concédant (exigences techniques) ;
- ◆ les actionnaires (rentabilité du projet) ;
- ◆ les prêteurs (retour d'investissement) ;
- ◆ les utilisateurs.

Concernant ces utilisateurs, deux points sont à noter :

◆ en Hongrie la motorisation moyenne n'est que de 225 voitures pour 1 000 habitants, le kilométrage annuel moyen parcouru par les voitures est inférieur à 10 000 km, et le litre d'essence coûte en 1997 environ 0,85 \$ US ;

◆ l'autoroute M5, complétée par les sections qui existaient déjà auparavant, traverse la principale zone agricole du pays, ce qui détermine une part significative du trafic.

■ POINTS STRATÉGIQUES

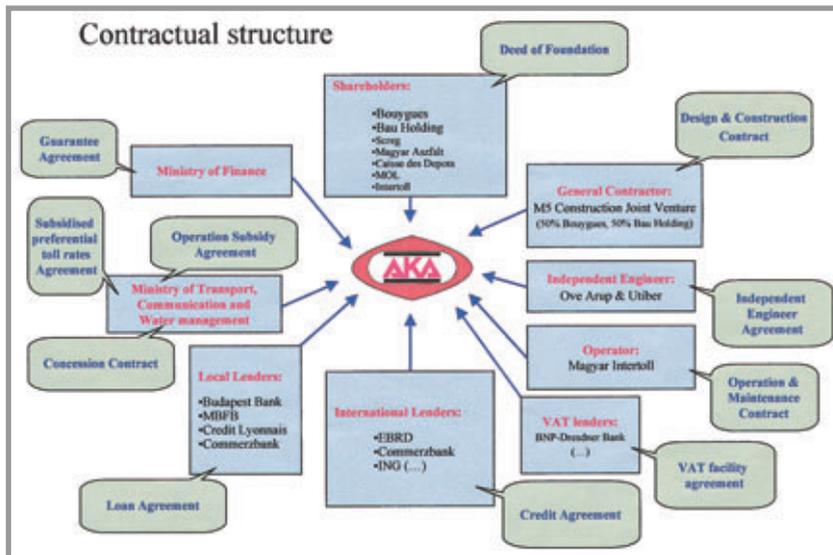
Montage financier et juridique

Le développement d'un chantier en concession nécessite avant tous travaux la mise en place d'une structure juridique et financière complexe.

Pour la phase 1 de M5, cette étape s'est déroulée de la manière suivante :

- ◆ janvier 1993 : appel d'offres ;

Figure 2
Organigramme
des intervenants



- ◆ 2 mai 1994 : signature du contrat de concession;
- ◆ 26 juillet 1994 : création de la société concessionnaire, AKA Rt;
- ◆ 11 décembre 1995 : bouclage financier;
- ◆ 5 janvier 1996 : ordre de service travaux;
- ◆ 4 avril 1996 : premier tirage sur les prêts.

A première vue, ce processus de plus de trois ans peut apparaître extrêmement long, mais une concession, comme celle de M5, fait intervenir de nombreux acteurs pour lesquels il y a lieu de définir de multiples relations. Sur M5, les principaux sont :

- ◆ le concédant, le ministère des Transports hongrois;
- ◆ le concessionnaire, AKA Rt. (Alföld Koncesziós Autópálya Rt., créé par Bouygues et Bau Holding);
- ◆ le constructeur, M5CJV (Bouygues et Bau Holding);
- ◆ l'opérateur, Magyar Intertoll;
- ◆ l'Independent Engineer (Ove Arup et Utiber);
- ◆ les prêteurs internationaux;
- ◆ les prêteurs hongrois;
- ◆ l'autorité garante, le ministère des Finances hongrois.

Tout ceci nécessite la négociation d'une dizaine de contrats, et fait intervenir des compétences juridiques et financières nombreuses et détaillées (figure 2).

Maîtrise de la conception

La viabilité de la conception dépendait d'un lancement rapide des études, l'obtention des nombreuses approbations nécessaires étant même une des conditions à remplir pour que l'ordre de service puisse être donné. Une équipe technique a donc été mobilisée un an avant le démarrage des travaux, et a compris trois expatriés et trois ingénieurs hongrois pendant toute la période de production. Ceci a permis de suivre de près l'organisation du

bureau d'études hongrois en charge des plans d'avant-projet, puis des plans d'exécution. Et ceci a également favorisé l'obtention des approbations, non seulement de l'Independent Engineer et du ministère, mais aussi de toutes les autorités locales touchées de près ou de loin par le projet. Cette maîtrise a entre autres été démontrée lors de la découverte d'une importante couche de terrain compressible. Bien qu'aucune mention n'en ait été faite dans les documents d'avant-projet, une couche de terrain compressible a en effet été relevée lors des sondages complémentaires faits au début des études d'exécution. Cette couche se trouve dix mètres sous le terrain naturel, et touche l'ensemble des zones de travaux neufs. Malgré son amplitude, le problème a aussitôt été pris en compte, sans changement du délai global de chaque phase, par :

- ◆ une reprise de la conception des fondations de tous les ouvrages à construire;
- ◆ une augmentation du linéaire de pieux coulés en place;
- ◆ la refonte complète du programme qui a dû positionner les ponts après les terrassements et non l'inverse comme cela était prévu initialement;
- ◆ la mise en place de préchargements des zones critiques, et leur suivi.

Optimisation de la conception

Les études ont été confiées au principal bureau d'ingénierie hongrois, Uvaterv, sous la direction du groupement de travaux. Néanmoins, certains points, qui ont fait l'objet d'un traitement particulier par le constructeur, méritent d'être soulignés.

Les structures de chaussées

Elles ont été discutées avec le ministère des Travaux publics hongrois et "l'Independent Engineer" par le constructeur. SCREG, avec l'appui de son laboratoire central, a proposé puis fait accepter des concepts de dimensionnement français, parmi lesquels :

- ◆ la nécessité d'une couche d'assise solide (grave-ciment 0/32,5 en épaisseur 25 cm au lieu de 15 cm selon la pratique commune en Hongrie) permettant de renforcer la structure de chaussées et de minimiser l'épaisseur initiale d'enrobés (15 cm en trois couches) pour inclure les rechargements ultérieurs dans l'entretien de l'ouvrage;
- ◆ l'introduction du procédé de préfissuration Craft comme alternative aux membranes bitumineuses épaisses antifissures (type Sami) employées jusqu'ici en Hongrie;
- ◆ la réduction de l'épaisseur de la couche de roulement au minimum autorisé par les normes hongroises (3 cm pour les enrobés aux fibres 0/12) pour limiter les problèmes ultérieurs d'orniérage. Il faut reconnaître que les récents changements de normes hongroises en matière de dimensionne-

ment des chaussées (en 1994) et de formulation des enrobés (en 1995) ont constitué un terrain propice à l'acceptation de ces concepts.

Les éléments d'exploitation

Du fait d'un manque d'expérience, la conception des équipements d'exploitation (péage, réseau d'appels d'urgence en fibre optique, stations météo, stations de comptage, stations de pesage dynamique, réseau de transmission) n'a pas été faite par Uvaterv, mais a été supervisée par les services techniques de Bouygues. Ce domaine très technique a également été suivi depuis la France pour la fabrication, l'installation et la mise en route.

Les plantations

Elles ont été réalisées pour la première fois en Hongrie avec l'usage d'un film plastique comme il est couramment pratiqué en France ; tout en atteignant les résultats spécifiés, le procédé a permis d'optimiser les densités de végétaux anormalement élevées dans l'avant-projet sommaire et de limiter les coûts d'entretien.

Les écrans antibruit

Des études ont été menées pour définir précisément le type et la quantité d'écrans antibruit à mettre en place pour une protection efficace de l'environnement. Ce point a été particulièrement sensible dans la zone semi-urbaine de déviation de Kecskemét (étape 1b).

Rapidité de la construction

Une bonne maîtrise des travaux a été un point clef de l'opération dans un pays encore proche de la tutelle soviétique. Celle-ci a en particulier été assurée par :

- ◆ une très rapide mobilisation des associés, Bouygues et Bau Holding (ce point s'est d'ailleurs avéré crucial pour renforcer la crédibilité d'un tel projet en concession aux yeux des prêteurs) ;
- ◆ une implication forte des filiales des deux groupes : DTP et Colas pour Bouygues, Magyar Asphalt pour Bau Holding ;
- ◆ la mise en place d'une équipe de management renforcée comprenant vingt expatriés et quarante employés hongrois.

Cette implication forte a permis que les sections soient toutes ouvertes avant l'expiration des délais contractuels respectifs, ce qui était particulièrement délicat pour la mise en service des sections 0 et 1a le 21 décembre 1996, soit avec dix jours d'avance et après moins de huit mois de travaux effectifs.

Politique commerciale

Une fois l'autoroute construite la difficulté des projets en concession, aussi bien en Europe centrale



Photo 5
Préchargement au droit des appuis d'un ouvrage
Pre-loading over the bearings of a structure



Photo 6
Tronçon 1C. Recherches archéologiques
Section 1C - Archaeological searches



Photo 7
Kiskunfélegyháza. Barrière de péage pleine voie
Kiskunfélegyháza - Toll station across the carriageway

qu'en Europe de l'ouest d'ailleurs, est de rembourser les prêts ayant permis le financement de l'opération, et donc de faire accepter les péages par l'utilisateur.

Dans ce but, AKA a fixé, à ses propres risques, des systèmes de tarifs préférentiels s'adressant aux catégories sensibles d'utilisateurs locaux du tracé :

- ◆ utilisateurs fréquents ;
- ◆ transporteurs ;
- ◆ riverains ;
- ◆ agriculteurs.

Cette politique permet aujourd'hui de faire rentrer dans la mentalité hongroise le principe du péage

par l'utilisateur (à l'opposé du péage par le contribuable, qui était le principe de l'époque soviétique).

CONCLUSION

Plusieurs difficultés importantes ont été rencontrées au cours de l'exécution des travaux, parmi lesquelles :

- ◆ le grand nombre d'autorités locales intervenant au cours de la phase études et pour les autorisations de travaux ;
- ◆ la couche géologique compressible ;
- ◆ l'importance des découvertes archéologiques sur le tracé, et sur une grosse partie des zones d'emprunt ;
- ◆ les conditions préalables aux mises en service demandées à la dernière minute par l'inspection des routes.

Cependant, et c'est sans doute une caractéristique des projets en concession, la difficulté principale demeure la mise en place du financement et des divers contrats, une fois la concession obtenue. Pour la phase 1 de l'autoroute M5, cette phase a duré dix-neuf mois.

Cette phase a été consolidée *a posteriori* par un trafic satisfaisant, et présentant une part significative de flux locaux :

- ◆ la part hongroise du trafic dépasse les deux tiers ;
- ◆ le taux de capture du trafic potentiel total dépasse 60 % pour les véhicules légers, et même 70 % pour la circulation sur de longs parcours, ce qui, outre la satisfaction du concédant, acquise lors de l'ouverture de chaque tronçon, confirme la satisfaction de l'utilisateur, et procure celle des actionnaires et des prêteurs.



Réparation d'un ouvrage existant
Repair of an existing structure
Photo 8

Bibliographie

Revue générale des routes, n° 751 – Mai 1997.
Hongrie : Construction de l'autoroute M5. Dominique Gazal (Bouygues), Jean-Jacques Leuge (Bouygues), Norbert Moussart (Bouygues).

ABSTRACT

**Motorway M5 in Hungary
A concession-operated
motorway in Central Europe**

L. Dabet, O. Miret

The first section of a concession-operated motorway in Hungary was recently completed by the Bouygues and Bau Holding groups, 49 months after the concession was granted. It is a 97 km segment of motorway M5 that runs from Budapest in the direction of Serbia, and is an essential link for connections within the Balkans. The work phase allowed the approval and then the application of new techniques used for the first time in Hungary. The basic difficulty however was not technical, but relational : during the financing period, agreement had to be reached between the numerous players involved in the concession, from the granting authority to the technical advisors to lending organisations; then, in the work phase, many approvals had to be obtained from all the local authorities affected directly or indirectly by the project.

DEUTSCHES KURZREFERAT

**Die Autobahn M5 in Ungarn
Ein Konzessionsvertrag
in Mitteleuropa**

L. Dabet, O. Miret

Neunundvierzig Monate nach Vergabe der Konzession haben die Gruppen Bouygues und Bau Holding den ersten Abschnitt einer ungarischen Autobahn im Konzessionsprinzip fertiggestellt. Die 97 km lange Strecke der Autobahn M5 führt von Budapest aus in Richtung Serbien und ist ein wesentliches Glied der Verbindung mit dem Balkan. Im Rahmen dieser Maßnahme sind für Ungarn neue Techniken genehmigt und umgesetzt worden. Die Hauptschwierigkeit lag allerdings nicht in der Technik, sondern in den Beziehungen zum Umfeld : Während der Finanzierungsphase mußten die zahlreichen Akteure einer Konzession, vom Konzessionsgeber über die Darlehensgeber bis hin den technischen Beratern unter einen Hut gebracht werden; während der Bauphase mußten unzählige Genehmigungen aller lokalen Behörden, die direkt oder indirekt von dem Projekt betroffen waren, eingeholt werden.

RESUMEN ESPAÑOL

**La autopista M5,
en Hungría
Una concesión en Europa
central**

L. Dabet y O. Miret

Se acaba de finalizar la construcción del primer tramo de una autopista ejecutada en concesión en Hungría, por parte de los grupos Bouygues y Bau Holding, cuarenta y nueve meses después de la obtención de la concesión. Se trata de un tramo de 97 km de la autopista M5 que arranca de Budapest en dirección de Serbia y que constituye un eslabón primordial para las comunicaciones con los Balcanes. La fase de obras ha permitido la aprobación y, acto seguido, la puesta en aplicación de nuevas técnicas de obras de este género en Hungría. La dificultad más importante ha residido, no ya en el aspecto técnico, sino, mejor aún en el aspecto relacional : durante el período de financiación fue preciso ponerse de acuerdo con muy numerosos participantes en la concesión, desde la entidad concesionista hasta los consultores técnicos, y pasando por las entidades que han concedido los préstamos. A continuación, ya en la etapa de ejecución de las obras, fue preciso también obtener numerosas aprobaciones de todos los estamentos locales relacionados de cerca o de lejos por el proyecto.

Autoroute Ville-Marie

En plein cœur de Montréal : la réhabilitation de l'autoroute 720 Est

Inaugurée en 1972 afin de faciliter l'accès au centre-ville de Montréal, l'autoroute 720 est une chaussée à deux fois quatre voies, d'une longueur de 2,7 km. De type de voie élevée à caissons (figure 1) cette structure est supportée par des chevêtres dont la portée varie de 35 à 45 m. Trois sorties et deux entrées viennent compléter ce tronçon d'autoroute.

■ ÉTAT DE DÉTÉRIORATION

Cette structure avait déjà fait l'objet de travaux de réfection partielle en 1989. En effet, le MTQ (Ministère des Transports du Québec) avait procédé à cette époque aux changements des joints de dilatation, à des réparations partielles de la dalle supérieure ainsi qu'au remplacement des enrobés bitumineux. Cependant les effets combinés des sels de déglacage épandus de façon intensive durant la période hivernale, d'un système de drainage pluvial inadéquat et d'un manque d'épaisseur de recouvrement des aciers d'armature ont obligé les services d'entretien à de fréquentes interventions d'urgence depuis lors. C'est pourquoi au printemps 1998, le MTQ lançait un appel d'offres comprenant la réfection complète des parapets (5 400 ml), la réparation des hourdis supérieurs et inférieurs ainsi que l'enlèvement et la pose de nouveaux enrobés, et ce sur les 50 000 m² de la direction Est de l'autoroute 720.

Suite à un appel d'offres public, c'est à la firme DJL (Construction DJL inc.) filiale canadienne de EJM (Entreprise Jean Lefebvre) qu'un contrat de plus de 53 000 000 francs a été octroyé afin de réaliser ces importants travaux. Avantage par des installations à proximité du site, le savoir-faire acquis lors des réalisations du même type et dans le même secteur au cours des dernières années, et surtout grâce à l'expérience et au dynamisme de son équipe de "Travaux spéciaux", DJL enclenchait début mai 1998 le processus de réhabilitation de ce tronçon.

■ MAINTIEN DE LA CIRCULATION ET SÉCURITÉ

La direction Est de l'autoroute 720 est l'accès au centre-ville de Montréal pour tout le trafic provenant de la banlieue ouest de la métropole. Il était donc impossible d'envisager la fermeture à la circulation des 4 voies durant toute la période de reconstruc-

tion. La maîtrise d'œuvre ayant été confiée à la firme Dessau-Soprin, celle-ci établissait un plan d'intervention extrêmement complexe en collaboration avec la Ville de Montréal et le service de la circulation du MTQ. Deux voies sur quatre ont donc été retranchées et le chantier protégé par des glissières de sécurité temporaires de type New Jersey afin de réaliser les travaux en deux phases. De plus, dans le cadre du programme "Impact zéro sur la circulation" institué par le MTQ, des fermetures d'une troisième voie étaient accordées de façon restreinte la nuit et les fins de semaine afin de réaliser les opérations nécessitant un maximum d'espace, comme la mise en œuvre des enrobés bitumineux et du béton. Une seule des trois sorties pouvant être fermée à la fois, cette restriction s'est avérée extrêmement contraignante vu l'ampleur des activités prévues sur ces accès. Un échancier de 30 semaines a obligé DJL à établir des postes de travail de jour et de nuit, en plus de planifier de nombreuses activités les fins de semaine.

■ DÉMOLITION : MÉTHODES MANUELLES ET ASSISTÉES

L'autoroute 720 étant considérée comme un ouvrage d'art, toutes les restrictions concernant les équipements autorisés ont été sévèrement appliquées. Alors que les parapets et les sections de

Daniel Cormier

DIRECTEUR DE PROJET
Construction DJL inc.



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Gouvernement du Québec - Ministère des Transports, Direction territoriale - Montréal

Maître d'œuvre

Dessau-Soprin

Contrôle de la qualité

- Axor Experts conseils
- Laboratoire de béton Ltée.

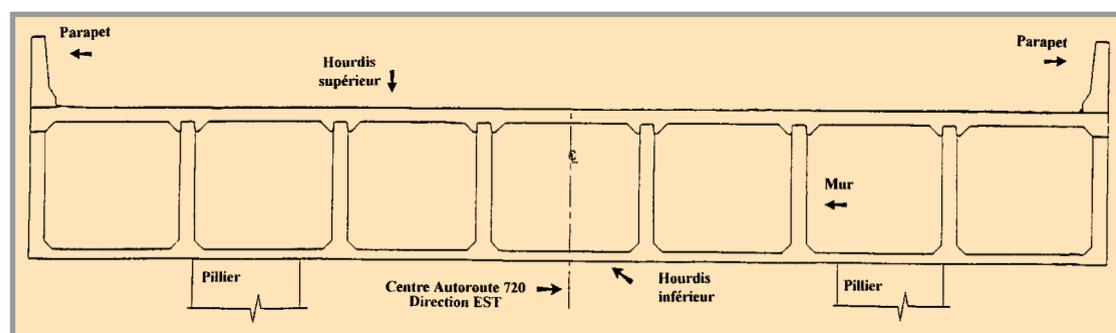
Entreprises

Construction DJL Inc.

Principaux fournisseurs

- Lafarge Canada : béton de ciment
- Armatures Bois-Francs : armatures

Figure 1
Coupe transversale du tablier
Cross-section of deck



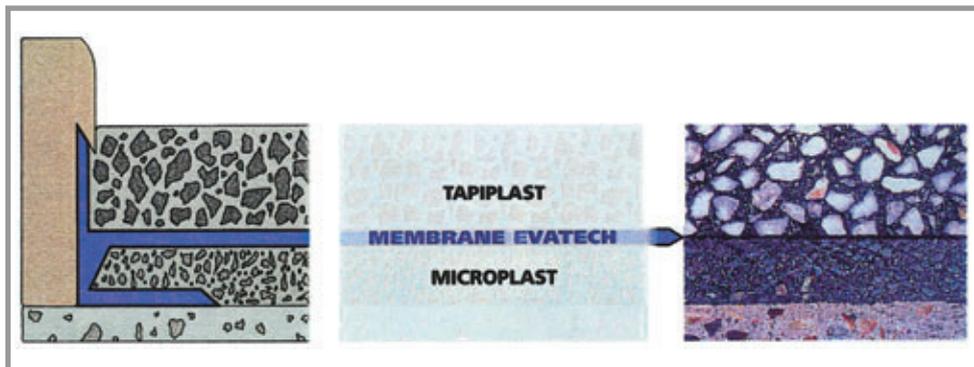


Figure 2
Membrane
d'étanchéité Etanplast
Etanplast waterproofing
membrane



Photo 1
Démolition complète
des hourdis supérieurs
Complete demolition
of upper deck section



Photo 2
Robot effectuant
l'hydrodémolition
Robot used
for hydrodemolition



Photo 3
Vue d'un hourdis supérieur
après hydrodémolition
et mise en place
d'armatures
View of an upper deck section
after hydrodemolition
and placing of reinforcement

dalle complètes ont pu être démolis à l'aide d'une mâchoire hydraulique Tramac PFH 725 installée sur une pelle hydraulique Komatsu PC 200, des marteaux pneumatiques manuels d'au plus 7 kg ont dû être utilisés pour la démolition partielle de plus de 7 000 m² de dalle d'une épaisseur de 190 mm et pour la démolition de 3 000 ml de diaphragmes et murs longitudinaux. Pour la démolition des pourtours de hourdis inférieurs, DJL a utilisé une machine à jet d'eau sous pression (1450 b à 135 l/mn), la lance étant fixée au cadre du panier d'une nacelle hydraulique, le tout contrôlé manuellement. Si la méthode d'hydrodémolition ne représente pas une économie en soi elle a pour effet de remplacer huit à dix hommes. Afin d'effectuer le nettoyage des rebuts de béton (1 500 m³) amassés au fond des caissons, plus de 400 ouvertures de 30 cm ont dû être pratiquées dans les hourdis inférieurs. Tout au long du projet, cinquante hommes ont été affectés à ces travaux de démolition et de nettoyage dans des conditions apocalyptiques en raison particulièrement du bruit, de la poussière, de l'exiguïté des lieux et des difficultés d'accès causées par un flot de circulation dense et incessant.

■ RÉFECTION DES HOURDIS SUPÉRIEURS

Dans les zones les plus endommagées (photo 1) des sections complètes de hourdis supérieurs ont été reconstruites et ces sections de l'autoroute variant de 73 à 430 m de longueur ont dû être supportées par des étalements afin de protéger l'intégrité de la structure. La préparation des assises pour la mise en place de ces supports était compliquée par la présence de remblais en pente de 45 degrés réalisés lors de la construction de la voie surélevée. Ce mode de réparation a été retenu sur près de 14 000 m² à un coût de 1 400 F/m².

■ ALTERNATIVE HYDRODÉMOLITION

Du fait que les quantités de réfection complète des hourdis supérieurs se trouvaient largement augmentées suite aux relevés faits après l'enlèvement du revêtement bitumineux et que cette situation risquait d'engendrer un dépassement de son budget et de compromettre l'échéancier des travaux, le MTQ demandait à DJL de réaliser un projet pilote de 350 m² en hydrodémolition (photos 2 et 3). L'essai s'étant avéré positif DJL obtenait le mandat de réaliser près de 12 500 m² de réparations en hydrodémolition robotisée sur une épaisseur de 8 cm. Parce qu'elle ne dégageait que le premier rang d'armature de la dalle, cette méthode permettait d'éliminer l'étalement. Elle avait l'avantage de ne pas menacer la capacité structurale,

d'épargner le jet de sable sur les aciers d'armature et d'assurer une excellente adhérence entre le nouveau béton et le béton existant. Le coût de cette méthode était de 720 F/m². Le choix de cette alternative permettait donc au MTQ de réaliser une économie de 8 500 000 F, en plus de garantir le respect de l'échéancier.

■ REHAUSSEMENT DU PROFIL FINAL

A cause du faible recouvrement des aciers d'armature et afin d'augmenter la capacité structurale de l'ouvrage, le profil final de la voie de roulement a été rehaussé de 50 mm sur l'ensemble du projet nécessitant ainsi le bétonnage d'une chape sur la totalité du contrat (50 000 m²). La mise en place de 13 000 m³ de béton d'ouvrage d'art fut réalisée de nuit seulement, afin de minimiser les effets de la chaleur et de profiter d'une circulation moins dense, qui facilitait ainsi l'accès aux bétonnières de Lafarge Canada. Une finisseuse sur rail Gomaco 450 assurait la pose du béton (photo 4).

■ BÉTON LATEX

Dans les portions les moins endommagées du chantier, des réparations ponctuelles ont été effectuées et complétées par l'ajout d'une chape de béton latex de 50 mm d'épaisseur. En raison du temps de prise initial extrêmement court du béton latex, DJL a dû avoir recours à l'utilisation de deux bétonnières mobiles permettant ainsi le malaxage des constituants au point de déchargement. Près de 2 000 m³ ont été fabriqués et mis en place à l'aide d'une règle vibrante. 23 000 m² auront été ainsi traités, ce qui représente, à ce jour, le plus gros volume de béton latex utilisé sur un chantier au Québec.

■ COFFRAGE

Près de 5 400 ml de parapets ont été reconstruits à l'aide de coffrage manuel seulement. Les vibrations continues générées par la circulation sur les voies connexes interdisaient l'utilisation d'une machine à coffrage glissant. Les matériaux de coffrage et les équipements encombrant largement le chantier causaient aussi des problèmes de logistique importants. Le coffrage des hourdis supérieurs a également causé de nombreux "maux de tête" à notre sous-traitant, la démolition complète de la dalle coupant tout accès pour acheminer les matériaux de coffrage et obligeant les hommes à transporter manuellement les pièces nécessaires. De plus, lors du décoffrage, seules quelques trappes d'accès pratiquées dans les hourdis inférieurs pouvaient permettre l'évacuation des matériaux.



Photo 4
Coulage du béton conventionnel

Conventional concrete pouring



Mise en place du Microplast (Etanplast)

Application of Microplast (Etanplast)

Photo 5

■ L'ALTERNATIVE "ÉTANPLAST"

La méthode d'imperméabilisation la plus couramment utilisée par le MTQ consiste en l'application d'une membrane autocollante préfabriquée directement sur le béton avant la pose des enrobés. Ayant déjà expérimenté l'"Étanplast" (figure 2) lors des travaux de construction du Pont de la Confédération I-P-E (Île du Prince Edouard), au Canada en 1997, DJL proposait cette variante au MTQ. L'"Étanplast" est un système multicouche comportant une couche d'accrochage à l'émulsion, une épaisseur de micro-béton bitumineux spécialement formulé, une membrane liquide au bitume polymère, le tout recouvert d'une couche de roulement en béton bitumineux. Ce système est destiné principalement aux ponts et viaducs à tablier de béton. Il permet la réalisation de superficie à des cadences nettement supérieures aux systèmes d'étanchéité conventionnels, élément des plus déterminant pour les travaux de réfection en zones urbaines.

■ CONCLUSION

Fin novembre 1998 toutes les voies sont rendues aux usagers et DJL se prépare à soumissionner les travaux prévus début 1999 sur l'autoroute 720

PRINCIPALES QUANTITÉS ET MOYENS

- 11 000 m³ de béton 35 MPa
- 2 000 m³ de béton latex 30 MPa
- 35 000 m² de coffrage
- 1 000 t/m d'armatures
- 50 000 m² d'imperméabilisation
- 8 000 t/m d'enrobés

LES MOYENS

En hommes

125 hommes pendant 30 semaines jour et nuit

En matériel

- Finisseuse Gomaco 450
- Thermorégénératrice Wirtgen, et autres...

dans la direction Ouest. Fort de cette expérience, DJL se considère comme le chef de file dans ce domaine, et espère par l'implantation de techniques innovatrices et le développement de méthodes avant-gardistes, se maintenir en tête.

FORMULES DE BÉTON

Béton type I - 30 MPa

- 355 kg de ciment type 10 Lafarge/St-Constant
- 782 kg de sable Lafarge/St-Gabriel
- 543 kg d'agrégats 20 mm calcaire Dolomie/St-Timothee
- 270 kg d'agrégats 14 mm calcaire Lafarge/Ste-Clothilde
- 272 kg d'agrégats 10 mm calcaire Dolomie/St-Timothee
- 2,5 l de plastifiant (Conchem S.P.N - Masterbuilders)
- 0,22 l d'entraîneur d'air (Micro-air Masterbuilders)
- 155 l d'eau

Béton type V - 35 MPa

- 400 kg de ciment type 10 SF Lafarge/St-Constant
- 732 kg de sable Lafarge/St-Gabriel
- 526 kg d'agrégats 20 mm calcaire Lafarge/St-Gabriel
- 271 kg d'agrégats 14 mm calcaire Dolomie/St-Timothee
- 270 kg d'agrégats 10 mm calcaire Dolomie/St-Timothee
- 2,5 l de plastifiant (Conchem S.P.N - Masterbuilders)
- 0,22 l d'entraîneur d'air (Micro-air Masterbuilders)
- 160 l d'eau

Béton latex - 30 MPa

- 395 kg de ciment type 10 SF Lafarge/St-Constant
- 847 kg de sable 0/5 mm Lafarge/St-Gabriel
- 920 kg d'agrégats 2,5/10 mm Lafarge/St-Constant
- 45 l de latex Dow Chemical 48 % solide
- 3,5 l d'entraîneur d'air (Micro-air Masterbuilders)

ABSTRACT

Ville-Marie motorway. In the heart of Montreal : major rehabilitation of highway 720 East

D. Cormier

Inaugurated in 1972 in order to facilitate access to the centre of Montreal, highway 720 East (Ville-Marie motorway) has a four-lane carriageway and is 2,7 km long. This highway handles heavy traffic and is exposed to harsh climatic conditions. Major repairs were carried out in 1989. At the dawn of the year 2000, it was again necessary to rehabilitate this important facility. From April to November 1998, the first part of the works was carried out on the east side. The works included the complete rebuilding of parapets, the repair of upper and lower deck sections as well as the application of new asphalt. Two methods were used for demolition, i.e. hydrodemolition and demolition using hydraulic jaws and pneumatic hammers. The deck was overlaid using the "Etanplast" waterproofing system.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Autobahn Ville-Marie. Im Herzen Montreals : die umfangreiche Sanierung der Autobahn 720 Ost

D. Cormier

Die 1972 dem Verkehr übergebene vierspurige Autobahn 720 Ost (Autobahn Ville-Marie) ist 2,7 km lang und ermöglicht die Zufahrt in das Stadtzentrum von Montreal. Sie wird durch das hohe Verkehrsaufkommen und die harten klimatischen Bedingungen extrem beansprucht. 1989 waren bereits umfangreiche Reparaturen durchgeführt worden. Vor dem Eintritt in das nächste Jahrtausend war es erneut erforderlich, diese wichtige Verbindungsstraße zu sanieren. Von April bis November 1998 stand die erste Etappe in der östlichen Fahrtrichtung auf dem Programm. Die Maßnahmen beinhalteten die vollständige Neuerrichtung der Brüstungen, die Reparatur der oberen und unteren Deckplatten sowie das Aufbringen einer neuen Asphaltdeckschicht. Bei den Abbrucharbeiten wurden zwei Techniken eingesetzt : hydraulischer Abbruch und Abbruch mittels Hydraulikzangen und

Druckluftschlämmern. Die Fahrbahnplatte wurde mit dem Dichtsystem "Etanplast" neu gedeckt.

RESUMEN ESPAÑOL

Autopista Ville-Marie. En pleno centro de Montreal : importante rehabilitación de la autopista 720 Este

D. Cormier

La autopista 720 Este (Autopista Ville-Marie), inaugurada en 1972 para facilitar el acceso al casco antiguo de la ciudad de Montreal, es una autopista de cuatro canales de tráfico, de una longitud de 2,7 km. Esta autopista está sometida a un tráfico sumamente intenso y rudas condiciones climáticas. En 1989 se procedió a diversas reparaciones importantes. En los albores del año 2000, era de nuevo necesario rehabilitar esta importante autopista. Desde abril a noviembre de 1998, la primera parte de las obras tuvo lugar en la dirección Este. Las obras han consistido en la refacción completa de los parapetos, la reparación de los entramados superiores e inferiores, así como la aplicación de nuevas capas de aglomerados. Se han puesto en aplicación dos métodos para la demolición y la hidrodemolición por medios hidráulicos y martillos neumáticos. El recubrimiento del tablero se ha efectuado por medio de un sistema de impermeabilización "Etanplast".

Chantier expérimental d'une chaussée en béton armé continu à Angoulême

Le béton armé continu (BAC) est une technique peu utilisée en France, contrairement à nos voisins belges ou allemands. Le BAC coulé sur une fondation en béton maigre est en effet économiquement plus onéreux qu'une structure bitumineuse structurellement équivalente.

L'objet de l'expérimentation menée avec la collaboration du Setra, du LCPC et du CETE sur la déviation de la RN141 aux Rassats-Favrauds (Charente) est de s'assurer du bon comportement d'une structure originale BAC sur grave bitume que prédit la théorie ainsi que les premiers essais *in situ*.

■ PROBLÉMATIQUE DU BÉTON ARMÉ CONTINU EN FRANCE

Depuis 15 ans, des chaussées en béton armé continu (BAC) sur fondation non érodable en béton maigre, ont été réalisées, principalement sur autoroutes. Cette structure techniquement performante et d'un coût d'entretien moindre qu'une chaussée souple est nettement plus onéreuse à l'investissement. En effet, l'indépendance du BAC et du béton maigre, nécessaire à la non-remontée des fissures de retrait, conduit à ne pas tenir compte de la fondation dans le dimensionnement.

La non compétitivité économique de cette technique conduit à une hégémonie des chaussées bitumineuses en France.

Pour optimiser le dimensionnement du BAC, il convient de remplacer la couche de fondation en béton maigre par de la grave bitume. La grave bitume (GB) présente l'avantage d'être suffisamment rigide pour participer à la reprise des efforts de traction à la flexion induite par le trafic routier, d'être non érodable et de ne pas fissurer.

Pour pouvoir l'intégrer à la structure, il faut cependant être certain de l'adhérence du BAC avec l'enrobé. Les essais d'ovalisation pratiqués au printemps 1998 sur de telles structures sur les autoroutes A6 et A71 ont permis de constater ce collage.

Le Setra souhaite valider ces hypothèses de collage BAC-enrobé ainsi qu'une méthode de dimensionnement en comparant les durées de vie prédites par la théorie, à celles réellement observées sur une chaussée existante et ceci dans des délais relativement brefs.

■ L'EXPÉRIMENTATION DU COLLAGE BAC-ENROBÉ SUR UNE 2 X 2 VOIES EN CHARENTE

La DDE de la Charente était, depuis quelques années, intéressée par la réalisation d'une chaussée en béton, en particulier pour la RN10 dont le trafic

poids lourds (PL) est élevé (6 000 PL/jour). Jusqu'à présent, les variantes béton des appels d'offres présentaient un surcoût par rapport aux chaussées souples, supérieur au 10 % admis par la circulaire de la direction des Routes, en raison du moindre entretien.

La DDE de la Charente s'est donc naturellement portée volontaire en 1997 pour l'expérimentation du Setra. Le planning prévisionnel envisageait le montage du dossier de consultation des entreprises (DCE) début 1998 pour des travaux au cours de l'été. Seule la déviation des Rassats-Favrauds sur la RN 141, à 15 km à l'est d'Angoulême pouvait correspondre à ce planning. Cette déviation de 3,7 km de la Route Centre Europe Atlantique convenait parfaitement, pas trop longue au vu des risques et des surcoûts engendrés par l'expérience et suffisante pour créer les cinq cas de figure désirés par le Setra, à savoir :

- ◆ une structure conforme au catalogue des structures types de chaussées neuves 1998 de 24 cm de BAC sur 5 cm de béton bitumineux (BB) pour un trafic TC6 30 (correspond au trafic To avec une durée de 30 ans et un taux de croissance annuel linéaire de + 5 %) et une plate-forme de type PF3. Le BAC et le BB sont supposés décollés ;



Pierre-Paul Gabrielli



SUBDIVISIONNAIRE
ETUDES ET TRAVAUX
NEUFS
Service des Grands Travaux
DDE Charente

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Daniel Pendarias - Directeur Départemental de l'Équipement de la Charente

Maître d'œuvre

Paul Neron - Chef du Service des Grands Travaux de la DDE de la Charente

Entreprises

- CMR GT
- Gailledrat

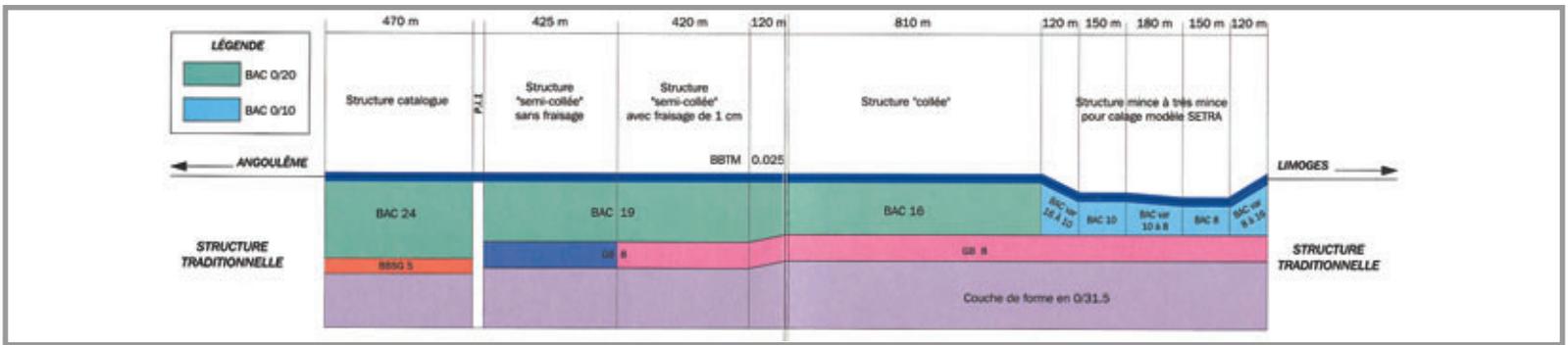
Fournisseurs

- Matériaux de la carrière Garandeau
- Ciments Lafarge (BAC 0/20 - BAC 0/10)
- Adjuvants Sika

RN 141 - Déviation des Rassats-Favrauds. Phase de bétonnage de la chaussée expérimentale

Highway RN 141 - Rassats-Favrauds diversion. Pouring of experimental pavement concrete

Photo 1



Coupe de la structure de l'expérimentation
Cross-section of the experimental structure

Figure 1



- ◆ une structure avec hypothèse de semi-collage entre le BAC et l'enrobé constituée de 19 cm de BAC sur 8 cm de GB ;
- ◆ une structure avec hypothèse de collage entre le BAC et la GB soit 16 cm de BAC sur 8 cm de GB ;
- ◆ une structure "fusible" dimensionnée sur 5 ans seulement avec hypothèse de collage de 10 cm de BAC sur 8 cm de GB ;
- ◆ une structure "fusible" dimensionnée sur 2 ans seulement avec hypothèse de collage de 8 cm de BAC sur 8 cm de GB.

Les deux dernières structures dites "fusibles" ont pour objet la validation de la méthode de dimensionnement du Setra.

Seule la chaussée nord à 2 voies de la déviation fait partie de l'expérience afin d'en limiter le coût et de pouvoir comparer la technique BAC sur GB par rapport à la chaussée sud traditionnelle dans les mêmes conditions réelles d'exploitation. Un béton bitumineux très mince (BBTM) est prévu au terme de l'expérience soit dans 5 ans environ pour homogénéiser la section expérimentale avec le reste de la RN 141.

Un programme complet de mesures menées avec le concours du LRPC de Bordeaux permet d'emmagasiner les données nécessaires au Setra :

- ◆ épaisseur des couches de chaussées par laserographe ;
- ◆ qualité de l'interface BAC-GB par FWD et collographe ainsi que des essais d'ovalisation ;
- ◆ portance de la couche de forme par déflectographe Lacroix et essais de plaque ;
- ◆ module d'élasticité des matériaux par prélèvement de chantier ;
- ◆ résistance mécanique du béton par écrasement d'éprouvettes de chantier ;
- ◆ degré d'engrènement des dalles béton par inclinomètre ;
- ◆ température par jauge incrustée sur une section ;
- ◆ trafic par capteurs piézo-électriques ;
- ◆ fissures de retrait et de fatigue par relevé visuel ;
- ◆ origine des fissures de fatigue par carottage.

■ LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DU CHANTIER EXPÉRIMENTAL

Dès que la décision de réaliser le chantier expérimental sur la déviation des Rassats-Favrauds fut prise par la direction des Routes fin 1997, nous

avons modifié les terrassements de cette déviation pour relever la classe de plate-forme de PF2 à PF3 et exécuter une couche de réglage. La fonction de cette couche de réglage en 0/31,5 était de rattraper la différence de hauteur entre la chaussée nord (BAC) et la chaussée sud (semi-rigide) ainsi que d'obtenir des tolérances de nivellement comprises entre - 2 cm et + 1 cm. Début 1998, nous avons réalisé le dossier de consultation des entreprises, en collaboration avec Gilles Laurent du CETE de l'Ouest, chargé d'assurer la coordination entre le Setra, le LCPC et le Service des Grands Travaux de la DDE Charente.

Sept entreprises furent retenues pour l'appel d'offres restreint du 2^e trimestre 1998. Le groupement CMR GT - Gailledrat a présenté l'offre la moins et la mieux disante pour un montant de 9,5 millions de francs TTC.

L'ordre de service a été délivré le 24 juin 1998 pour un délai de 3 mois. La grave bitume a tout d'abord été mise en œuvre avec des moyens de production locaux compte tenu des faibles tonnages à réaliser. La principale difficulté était le respect des épaisseurs des chaussées, crucial pour la réussite de l'opération (adéquation des épaisseurs réalisées avec celles du modèle numérique).

La mise en place des aciers sur la grave bitume n'a pu s'effectuer, comme habituellement, au moyen de trompettes placées à l'avant de la machine à coffrage glissant car le caractère expérimental de l'opération imposait cinq sections d'acier différentes :

- ◆ 64 barres Ø 16 pour le BAC 24 ;
- ◆ 50 barres Ø 16 pour le BAC 19 ;
- ◆ 55 barres Ø 14 pour le BAC 16 ;
- ◆ 48 barres Ø 12 pour le BAC 10 ;
- ◆ 56 barres Ø 10 pour le BAC 8.

Ces aciers ont donc été posés sur distanciers. Du 8 au 21 juillet 1998, les 4000 m³ de béton ont été coulés. Deux formules ont été employées : un béton 0/20 pour les sections comprises entre 24 et 16 cm et un BAC 0/10 pour les sections de 10 à 8 cm, afin d'éviter tout phénomène d'arrachement à la mise en œuvre.

Un retardateur Robuco fut pulvérisé directement derrière la machine à coffrage glissant. Un balayage 24 heures après, a permis d'avoir un béton dénudé, de rugosité suffisante, d'aspect uniforme, et nettement moins bruyant qu'un béton strié.

A chaque extrémité, et de part et d'autre du pas-

	BAC 0/20	BAC 0/10
Sable 0/2 silico-calcaire (carières de Rancogne)	710 kg	610 kg
Gravillon 2/6 dioritique (carières de Genouillac)	190 kg	430 kg
Gravillon 6/10 dioritique (carières de Genouillac)	465 kg	750 kg
Gravillon 10/20 dioritique (carières de Genouillac)	500 kg	—
Plastifiant Plastiment 22 S	2 kg	2,3 kg
Entraîneur d'air AER	0,03 kg	0,029 kg
Eau	171 l	180 l
Ciment CPJ CEM II/A 32 R	330 kg	380 kg

Formulation des bétons
Mix design of concrete

Tableau I

PRINCIPALES QUANTITÉS ET MOYENS

- 220 000 kg d'acier
- 4 000 m³ de béton
- 5 000 t d'enrobés

LES MOYENS

Grave bitume

- Finisseur Titan 422
- Compacteur Albaret P3
- Cylindre lisse BN161 Bomag

Pour le béton

- Centrale à béton continu SAM 400 de 150 m³/h
- Alimentateur frontal
- Machine à coffrage glissant Guntert et Zimmerman MSP 85
- Machine Robuco à pulvériser le produit de dénudage
- Machine à produit de cure de type CMI SF 280

sage inférieur, un joint lourd de type DG (brevet Gailledrat) a été mis en œuvre. Ce joint innovant, posé pour la 2^e fois après la déviation de Moulins, consiste en une dalle de béton mobile qui absorbe la dilatation du BAC sur deux joints garnis (coût d'entretien faible).

Du 21 juillet au 24 septembre 1998, ont été exécutés les autres travaux du marché tels l'assainissement, les bretelles en enrobés, les accotements, le terre-plein central et les finitions.



RN 141 - Déviation des Rassats-Favrauds. Aciers posés sur distanciers sur grave bitume

Highway RN 141 - Diversion of Rassats-Favrauds. Reinforcement placed on spacers over the asphalt-treated base

Photo 2

LA SUITE DE L'EXPÉRIMENTATION ET L'AVENIR DU BAC

La première partie de l'expérimentation, certes la plus délicate, vient de s'achever avec la mise en service de la section BAC le 9 novembre 1998. Une armoire de comptage permet d'enregistrer le trafic qui circule sur le BAC. Régulièrement des diagnostics de la chaussée seront effectués. Il reste à confirmer l'hypothèse de collage et attendre que la première section "fusible" casse pour valider la méthode de dimensionnement du Setra.

Tout permet cependant de penser que l'optimisation des chaussées en béton armé continu sur enrobé, leur redonnera une compétitivité face aux chaussées bitumineuses épaisses (grave bitume -

béton bitumineux) ou mixtes (grave ciment - grave bitume - béton bitumineux). Dans le cas d'une chaussée TC6₃₀/PF3, le gain de 33 % en dimensionnement par rapport au catalogue des structures de 1998 est en effet appréciable.

Bibliographie

Revue générale des routes, n° 768 – Décembre 1998. Expérimentation d'une structure de chaussée de type BAC + GB₃ sur la déviation des Rassats-Favrauds. X. Batut (CMR), L. Baroin (Gailledrat), P.-P. Gabrielli (DDE 16), G. Laurent (CETE de l'Ouest), B. Brusle (Setra).



RN 141 - Déviation des Rassats-Favrauds. Bétonnage du joint lourd de type DG

Highway RN 141 - Diversion of Rassats-Favrauds. Pouring of concrete with DG - Type heavy joint
Photo 3

ABSTRACT

Trials with a continuously reinforced concrete pavement in Angoulême

P.-P. Gabrielli

Continuously reinforced concrete (CRC) is the technique used much more seldom in France than by its Belgian or German neighbours. CRC poured on a lean concrete base is in fact more costly than a structurally equivalent bituminous structure. The aim of the trials conducted with the collaboration of the Sutra, LCPC and CETE on the diversion of highway RN 141 at Rassats-Favrauds (Charente region) was to verify the theoretically predicted good performance of an original CRC structure on asphalt-treated granular material, as well as the first in-place tests.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Probeinsatz von Fließstahlbeton auf einer Fahrbahn in Angoulême

P.-P. Gabrielli

Im Gegensatz zu unseren belgischen und deutschen Nachbarn verwenden wir in Frankreich die Technik des Fließstahlbetons nur selten. Auf eine Tragschicht aus Magerbeton aufgebracht Fließstahlbeton ist in der Tat wirtschaftlich aufwendiger als ein strukturell gleichwertiger bituminöser Aufbau. In Zusammenarbeit mit der Setra, dem LCPC und dem CETE ist auf der Umleitung der Nationalstraße RN 141 in Les Rassats-Favrauds (Département Charente) ein Versuch durchgeführt worden, um das in der Theorie vorausgesagte und bei der ersten in-situ-Erprobung festgestellte gute Verhalten einer neuartigen Struktur aus Fließstahlbeton auf einem mit Bitumen verfestigtem Mineralstoffgemisch experimentell zu belegen.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras experimentales de un pavimento de hormigón armado continuo en Angoulême (Francia)

P.-P. Gabrielli

El hormigón armado continuo constituye un procedimiento poco utilizado en Francia, contrariamente a lo que ocurre con nuestros vecinos belgas y alemanes. Este procedimiento se aplica sobre una base firme de hormigón pobre, y efectivamente, resulta económicamente más costoso que una estructura asfáltica estructuralmente equivalente. El objeto de la experimentación emprendida en colaboración con el Setra, el LCPC y el CETE, en la variante de la carretera nacional RN 141 en Les Rassats-Favrauds (Charente) consiste en garantizar un correcto comportamiento de una estructura original de aplicación del hormigón armado continuo sobre grava-betún acorde a la teoría así como a los primeros ensayos in situ.

Aménagement du boulevard périphérique

Cet article traite des enrobés drainants en 6 cm d'épaisseur appliqués sur le boulevard périphérique Est de Lille. Après un bref rappel du contexte local qui a guidé le choix du maître d'œuvre, la formule retenue par l'entreprise, les performances à obtenir et celles recueillies in situ sont successivement développées.

Quelques résultats peuvent être visualisés dans les tableaux II et III.

Une comparaison avec un bitume pur est présentée dans le tableau IV.

En guise de conclusion l'auteur soulève le problème de tenue des spécifications exigées dans les cahiers des clauses techniques particulières.

■ LE CONTEXTE

La métropole lilloise a été le cadre durant deux ans d'un grand chantier d'aménagement urbain, le boulevard périphérique Est financé par le contrat de plan Etat-Région. L'objectif annoncé était de mieux gérer le trafic, sans cesse croissant, estimé aujourd'hui à 140 000 véhicules par jour.

Ce boulevard sert en fait de liaison urbaine entre l'autoroute A1 et la voie rapide urbaine de Lille. D'une longueur de 3 300 m sur 2 x 5 voies, soit 50 m de large, la réalisation de la chaussée a nécessité plus de 65 000 t de grave bitume, 15 000 t de béton bitumeux de liaison et 9 000 t d'enrobé drainant Drainolastic au bitume polymère. Cette dernière couche appliquée sur une épaisseur de 6 cm de drainant est une première en France. Choisie par le maître d'œuvre sur une grande partie de l'ouvrage, elle doit permettre une absorption d'eau nettement supérieure à une couche de drainant traditionnel de 4 cm. Il est vrai que les orages violents fréquents dans la région, mettent toujours à l'épreuve le pouvoir drainant de nos enrobés.

Cette donnée climatique associée aux grandes largeurs de chaussées et aux faibles pentes de certaines zones justifie amplement ce choix qui augmente la capacité réservoir de l'enrobé de 50 %.

■ CHOIX DE LA FORMULE

Envisagée au départ différente, la formule retenue, un Drainolastic 0/10, est en fait semblable à celle qu'on utilise classiquement sur 4 cm (tableau I).

■ PERFORMANCES À OBTENIR

Le cahier des clauses techniques particulières du boulevard périphérique Est, imposait des critères très sévères de conformité sur les enrobés drainants, concernant notamment les drainabilités (tableau II). En effet, alors que la norme française donne une vitesse de percolation supérieure ou égale à 0,4 cm/s, le CCTP spécifiait un minimum de 0,6 cm/s mais surtout un maximum de 2 cm/s, ce que la plupart des drainants disponibles sur le marché dépassent régulièrement. Ceci associé à une moyenne comprise entre 1 cm/s et 1,3 cm/s.

■ PERFORMANCES OBTENUES

Section en 6 cm

Les performances obtenues sur chantier sont d'un excellent niveau et permettent sans nul doute d'assurer une bonne drainabilité de façon durable. Toutefois, les critères draconiens du CCTP n'ont pu être totalement tenus ; 5 % des valeurs sortent de la fourchette autorisée, dans tous les cas par excès de drainabilité. On peut rappeler que sur ce point la norme ne fixe pas de limite haute.

La principale difficulté dans l'application des enrobés drainants demeure la vérification, uniquement possible *a posteriori* et non pas à l'avancement ; l'entreprise a donc effectué au préalable une planche d'essais destinée à corréliser les drainabilités avec des mesures au gammadensimètre couche mince. L'analyse de cette planche d'essais a conduit à viser une teneur en vide au gammadensimètre comprise entre 20 et 24 %. Les résultats sont formalisés dans le tableau III.

L'analyse de la totalité des résultats a permis de vérifier l'excellente corrélation entre les densités en place et les densités au banc gamma, avec une moyenne quasiment identique, et des valeurs extrêmes de même niveau.

En revanche, aucune corrélation entre les vides communicants et les valeurs au banc gamma, ni même entre les vides communicants et les drainabilités n'a pu être mise en évidence.

■ CONCLUSION

La mauvaise corrélation obtenue entre les quatre critères testés montre les difficultés à tenir simultanément la drainabilité moyenne, la drainabilité

Vue d'ensemble de la mise en œuvre du Drainolastic

Application of Drainolastic

Photo 2





Est de Lille

Formulation	Pourcentages
6/10	82 %
0/2	15 %
Filler	3 %
Bitulastic	4,8 %

Tableau I
Formulation
du Drainolastic
Drainolastic mix
design

	Critères CCTP	Norme 98.134
Drainabilités :	1 cm/s \leq VPM \leq 1,3 cm/s 0,8 cm/s < 95 % VAL < 1,7 cm/s 0,6 cm/s < 100 % VAL < 2 cm/s	100 % \geq 0,4 cm/s
Teneur en vides : Communiquants	Moyenne \geq 15 % Aucune valeur < 12 %	

Tableau II
Spécifications
du marché
Contract
specifications

Résultats sur sections en 6 cm	
Densités en place	16 à 24 % de vides Moyenne à 20 %
Vides communiquants conventionnels	9,1 % à 20,8 % Moyenne à 15 %
Banc Gamma	16,8 à 25,3 % Moyenne à 21 %
Drainabilités	0,62 cm/s à 2,15 cm/s Moyenne à 1,28 cm/s

Tableau III
Résultats
des essais
Test results

ESSAIS	BITULASTIC EB		BITUME 50/70	
	Liant testé	Spécifications	Liant testé	Norme T 65001
Pénétrabilité à 25 °C (1/10 mm°)	52	45-65	60	50-70
Point de ramollissement	57	52-60	48,5	45-51
Bille Anneau (°C)				
Allongement à la rupture (%)	> 670	> 500	254	
Retour élastique à 15 °C (%)	79	\geq 70		
Point de Frass (°C)	-17	\leq -15		

Tableau IV
Performances
Bitulastic
Bitulastic
performance

UN BITUME POLYMÈRE PERFORMANT

Le liant utilisé pour la fabrication des Drainolastic est le Bitulastic EB de la gamme des Bitulastic E. Ce liant est fabriqué par SCREG selon un processus élaboré qui comprend non seulement la dispersion du polymère, styrène-butadiène-styrène dans le bitume, mais aussi la stabilisation et la structuration de l'ensemble par ajout d'additifs et réaction.

Les propriétés thermoplastiques et élastomériques de cet élastomère confèrent au liant une viscosité importante à haute température, diminuent sa fragilité à basse température et assurent une forte élasticité sur une plage importante de températures de service.

A titre d'exemple, sont inscrits dans le tableau IV quelques résultats obtenus sur liant frais en comparaison d'un bitume de référence 50/70.

maximum ainsi que la plage de densité en place qui avait été définie, afin de respecter les fourchettes admissibles en drainabilité et en teneurs en vides communicants.

En effet, nous pouvons observer que pour une vitesse de percolation moyenne de 1,28 cm/s, limite haute de spécification, nous avons dû viser un teneur en vide au gammadensimètre d'environ 20 %, limite basse définie, ce qui nous a conduit à des résultats de drainabilité parfois supérieurs aux spécifications et des teneurs en vides communicants ponctuellement basses.

Il serait certainement utile à l'avenir de s'interroger sur les possibilités réelles de remplir simultanément ces critères, et sans doute serait-il nécessaire d'optimiser certains d'entre eux.



Vue d'ensemble du chantier fini
Overall view of finished project

Photo 1

ABSTRACT

Rehabilitation of Lille's East Ring-road

V. Galera

This article describes the porous asphalt applied in a thickness of 6 cm on the East Ringroad in Lille. After a brief review of the local context and the factors that led to the client's choice, the approach adopted by the contracting firm, the performance level targets and actual achievements in the field are dealt with.

Some results are shown in Tables II and III. A comparison with pure bitumen is presented in Table IV.

In his conclusion, the author listened to the question of compliance with the requirements set forth in the technical specifications.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Sanierung der östlichen Ringstraße um Lille

V. Galera

Der vorliegende Artikel befaßt sich mit dem 6 cm dicken Dränasphalt, der auf die östliche Ringumgebung von Lille aufgebracht wurde. Nach einer kurzen Einführung in den lokalen Kontext, auf dem die Entscheidung des Federführers basiert, werden das vom Bauunternehmen umgesetzte Konzept, die geforderten Leistungsdaten und die tatsächlich in situ festgestellten Ergebnisse näher erläutert.

Einige Ergebnisse sind aus den Tabellen II und III ersichtlich. Die Tabelle IV zieht einen Vergleich mit reinem Bitumen.

Als Schlußfolgerung spricht der Verfasser das Problem der Einhaltung der Spezifikationen an, die in den Besonderen Technischen Bedingungen vorgegeben werden.

RESUMEN ESPAÑOL

Acondicionamiento del bulevar periférico Este de Lille (Francia)

V. Galera

En el presente artículo se trata de los aglomerados drenantes de 6 cm de espesor, aplicados en el bulevar periférico Este de Lille. Se desarrollan sucesivamente, tras un breve resumen del

contexto local que ha orientado las decisiones de la entidad contratante, la fórmula adoptada por la empresa constructora, así como los resultados prácticos a obtener y aquellos recogidos in situ. Las tablas II y III representan algunos resultados obtenidos. En la tabla IV se precisa una comparación del betún empleado.

A modo de conclusión, el autor trata del problema del cumplimiento de las especificaciones exigidas en los pliegos que contienen las cláusulas técnicas particulares.

Aéroport de Roissy Piste 4 et voies de circulation

La piste 4 de l'aéroport de Roissy - Charles de Gaulle a été ouverte le 5 novembre dernier, ponctuant ainsi le pari pris : un an pour coordonner près de 600 personnes, déplacer 4,5 millions de mètres cubes dont une grosse partie en période hivernale, c'est le challenge réussi par Aéroport de Paris. La solution chaussées rigides en béton a été préférée par ADP pour la construction de 360 000 m² de revêtement aéronautiques.

Des cadences de 9 000 m² par jour ont été atteintes par trois machines à coffrage glissant pour la mise en œuvre du béton de roulement; elles ont nécessité l'appui de deux centrales continues de 500 t/h et de 1 000 t/h pour fabriquer les 38 500 m³ de béton poreux et 145 000 m³ de béton de revêtement en moins de 4 mois.

Les contrôles de fabrication des bétons, le nivellement des surfaces et enfin l'uni de ces chaussées ont donné des résultats conformes aux exigences du maître d'œuvre.

Il n'aura fallu qu'un an au groupement d'entreprises Bouygues - GTM Construction - DTP Terrassement pour livrer la piste 4 de l'aéroport de Roissy. En effet, le 23 septembre 1997, était donné le feu vert à sa construction, après l'approbation du principe de la construction de deux pistes complémentaires par le tout récent ministre des Transports J.- Cl. Gayssot.

Cette décision s'imposait pour faire face à l'augmentation régulière du trafic aérien et lui donner de la fluidité. Jusqu'alors, la politique d'expansion de l'aéroport s'était surtout illustrée par la construction de nouvelles aérogares, dont la plus récente 2F est célèbre par la réussite architecturale, vitrine du savoir-faire d'ADP.

Aussi, le seul frein à l'augmentation du trafic était les deux pistes nord et sud de l'aéroport, qui limitaient les mouvements d'appareils à 80 par heure. La mise en service du doublet sud (piste 2 + piste 4) prévue en mars 99, associé à la piste n° 1 permettra d'atteindre les 100 mouvements, puis celle du deuxième doublet (piste 1 + piste 3), prévue en 2001, les 120 mouvements.

Cet accroissement du trafic étant le moteur de la croissance d'Air France, la compagnie nationale détient en effet plus de la moitié des parts de marché de l'aéroport, on comprend mieux l'enjeu de cette décision.

Plus courtes que les deux pistes existantes, la piste 4 et la future piste 3 seront utilisées pour les atterrissages, les deux pistes actuellement en service étant dédiées aux décollages. Si leurs longueurs ont été réduites, 2 700 m seulement pour ces deux nouvelles pistes, leur largeur est passée à 60 m au lieu des 45 m habituels, anticipation de l'arrivée probable d'une nouvelle génération d'avions gros porteurs aux dimensions accrues.



Jacques Gonnet



DIRECTEUR DE PROJET
Bouygues

François Debain



DIRECTEUR DE TRAVAUX
GTM Construction

Cyrille Massenet



DIRECTEUR DE TRAVAUX
DTP Terrassement

La plate-forme de fabrication des bétons : la SAM 1000 au premier plan, la SAM 500 au second plan

*The concrete manufacturing unit : the SAM 1000 in the foreground, the SAM 500 in the background
Photo 1*

■ APPELS D'OFFRES

Le dossier de consultation des entreprises présentait deux solutions. L'une de type chaussée souple constituée de 35 cm de limons traités, 45 cm de graves traitées, 28 cm de graves bitume et 8 cm d'enrobés. L'autre de type chaussée rigide en béton de 35 cm de limons traités, 20 cm de graves traitées, 10 cm de béton poreux et 39 cm de béton de roulement. Cette dernière s'est avérée plus économique de quelques millions sur un enveloppe globale de 440 millions de francs environ. Elle présente en outre, la caractéristique de résister aux efforts de poinçonnement deux fois plus importants que ceux d'un poids lourds. La déformation qui résulte de ces efforts engendre un phénomène d'ornièrage particulièrement marqué sur les voies où stationnent les avions pour les structures souples, phénomène aggravé par la chaleur.

Le béton, matériau rigide, est donc indéformable. Cette qualité n'est cependant pas reconnue à sa

La mise en œuvre
du béton poreux
au finisseur

*Application of porous
concrete with the paver*

Photo 2



Atelier de mise en œuvre
du béton de revêtement

*Surfacing concrete
application equipment*

Photo 3



▶ juste valeur sur les routes nationales, ou sur autoroutes pour lesquelles le catalogue des structures le pénalise, tant du point de vue des concepteurs que par les décideurs qui ne peuvent généralement pas intégrer le coût d'entretien de leurs ouvrages lors du jugement des offres.

COMPOSITION DES BÉTONS

Béton de revêtement

- Ciment CPJ - CEM II B 32,5 R (LS) : 310 kg
- Sable 0/4 : 680 kg
- Gravillons 6/14 et 14/31,5 : 1 240 kg
- Eau : 155 l
- Plastifiant Sika 22S : 0,8 %
- Entraîneur d'air : 0,11 %

Béton Poreux

- Ciment CPJ - CEM II B 32,5 R (LS) : 200 kg
- Sable 0/4 : 200 kg
- Gravillons 6/14 et 14/31,5 : 1 500 kg
- Eau : 90 l

PHASAGE DES TRAVAUX

Les travaux de la piste 4 comportaient trois phases principales, ainsi qu'une série de six sous-phases à réaliser de nuit :

- ◆ la première phase de travaux (phase 3) concerne la construction de la piste 4 ainsi que ses voies de circulation, à une limite de 150 m de l'axe de la piste 2, toujours en service. Elle a duré un an, du 23 septembre 97 au 30 septembre 98, pour plus de 300 000 m² de revêtement béton. En parallèle, près de 40 000 m² de chaussées souples ont été réalisées de nuit, dans le secteur de la boucle Kilo, redimensionnant ainsi ce carrefour important aux abords des aérogares 2 ;
- ◆ la phase 4 concernait la réalisation des voies de circulation au contact du seuil ouest de la piste 2. Ces travaux imposant le déclassement de la piste 2 n'ont pu démarrer qu'au 15 juillet 98, pour ne pas perturber l'accroissement de trafic généré par le succès de la Coupe du Monde de football. Ils ont

duré deux mois avec plus de 30 000 m² de revêtement béton ;

- ◆ enfin la phase 5 a démarré le 5 novembre 98, date de mise en service de la piste 4. Elle concerne la réalisation des raccordements des voies de circulation (30 000 m²) de part et d'autre de la piste 2 actuellement fermée, et subit en parallèle d'autres travaux d'entretien.

LES TRAVAUX

Les travaux ont donc démarré le 23 septembre 97, après une période de préparation forcée de trois mois, arrêt lié à une concertation complémentaire avec les élus locaux décidée par le nouveau ministre des Transports quelques semaines après le changement de gouvernement.

Terrassements

Cette date marque le démarrage de titanesques travaux de terrassements, pour lesquels pas moins d'une centaine d'engins de terrassements ont été mobilisés pour modeler le terrain. Le volume à terrasser avoisinant les 4,5 millions de mètres cubes. Tout type d'engins ont évolué, la plupart du temps en deux postes de travail :

- ◆ échelons de *scrapers* pour les déblais-remblais sur courtes distances renforcés par des échelons de pelles *dumpers* articulés type A35 ou A40 ;
- ◆ échelons de pelles *dumpers* type 773 pour les transports de marnes et limons sur des distances jusqu'à 5 km ;
- ◆ transports par semi-remorques pour les apports de limons et de terre végétale provenant d'emprunts plus éloignés.

Les couches de forme, en limons traités chaux plus liants routiers sur 35 cm, ont été réalisées de décembre 97 à avril 98. Les tolérances d'exécution (0 -2 cm) ont nécessité l'emploi d'un *grader* guidé au laser pour près de 400 000 m² de couches de forme de chaussées aéronautiques et 200 000 m² de chaussées routières.

Les réseaux

Quinze kilomètres de réseaux d'assainissement de tout diamètre ont été mis en œuvre, du diamètre 100 pour le drainage des chambres de multitubulaires, au diamètre 2000 posé en fin d'été 97 pour allonger l'exutoire du bassin des Renadières, en passant par le diamètre 800 foncé au microtunnelier sous la piste 2 en phase 4.

Une piste d'aéroport cache également un étonnant maillage électrique de plusieurs centaines de kilomètres, servant à alimenter :

- ◆ les feux de balisage lumineux de la piste et des voies de circulation ;
- ◆ les systèmes de navigation dont les faisceaux

radio électriques guident les avions dans la bonne inclinaison et dans le bon axe ;

◆ le système de recueil de données météorologiques.

Les chaussées

La coupe type d'une chaussée aéroportuaire requière, sur une épaisseur de 20 cm, une première couche de graves traitées. Celles-ci ont été fournies par des postes mobiles existants à proximité du site, et mises en œuvre à l'aide d'un autograde guidé sur fil.

Les bétons

La formulation

Les études de formulation des bétons poreux et de revêtement ont été effectuées après avoir choisi le fournisseur de ciment, Calcia, qui présentait les meilleurs logistiques d'approvisionnement au vu des pointes prévues. Elles ont été menées sous le contrôle du service béton de GTM au CTG, laboratoire du groupe Calcia. Des tests étendus de maniabilité aux températures de 20 °C et 30 °C ont été conduits en parallèle de l'optimisation de la quantité de ciment, critères complémentaires choisis en fonction de la période d'exécution. D'autres études ont permis par exemple, de corrélérer l'accroissement de la demande en eau du ciment en fonction de sa température.

Le béton poreux

Il a été fabriqué à partir d'une centrale mobile continue SAE SAM 500, et mis en œuvre principalement à l'aide d'un finisseur Demag renforcé ponctuellement par un second du type ABG de SCREG.

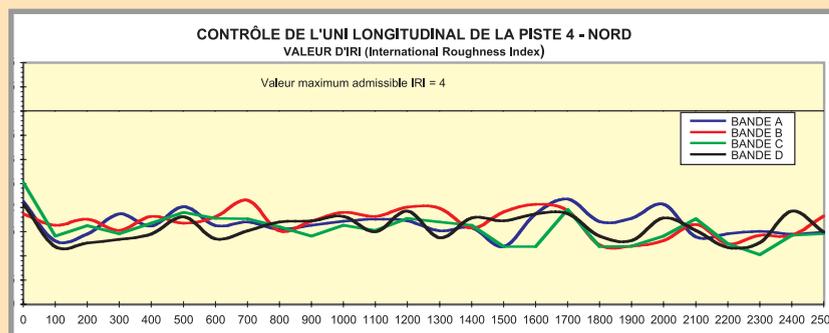
Les contrôles de densité préalablement réalisés lors des convenances ont permis de corrélérer la gamme de densité (1,95 = 2,15) et de perméabilité permettant d'atteindre les résistances contractuelles. Celles-ci exigeaient, en complément de la vibration des tables des finisseurs utilisés, l'emploi d'un compacteur complémentaire du type BW 100/120 pour une épaisseur moyenne de 10 cm.

Des pointes maximales de plus de 10 000 m² ont été atteintes avec les deux ateliers de mise en œuvre, cette opération ne constituant pas de ce fait une activité critique.

Le béton de revêtement

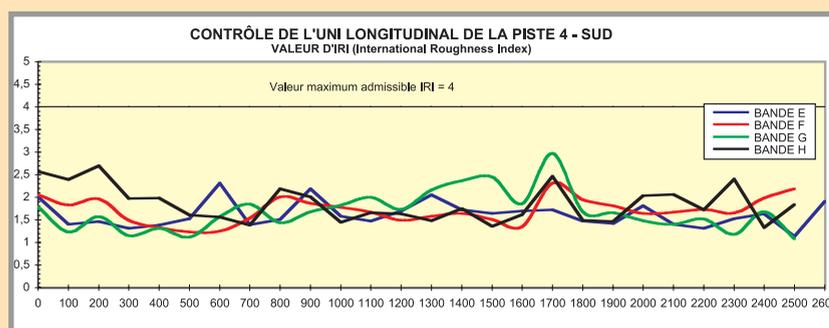
La technique des chaussées en béton a évolué depuis sa première utilisation sur l'aéroport de Roissy, grâce à l'emploi de la couche drainante et du goudonnage des dalles, tous deux nécessaires pour éviter le phénomène de battement de dalles qui occasionne un vieillissement prématuré de ce type de chaussée.

L'emploi de goujons (aciers Ø 30 de 50 cm de longueur pour des épaisseurs de béton de 40 cm) per-



Synthèse des résultats d'uni de la piste 4. En haut piste nord, en bas piste sud

Summary of evenness results on runway 4. Above, the north runway; below, the south runway



met le transfert des charges d'une dalle à l'autre. Ils sont doublés pour les joints de construction, d'une joue présentant un profil sinusoïdal.

Pour assurer la production du béton de revêtement, le groupement a installé une centrale continue SAE SAM 1000 offrant une capacité nominale de 380 m³/h, qui pouvait être secourue, en cas de panne, par celle dédiée à la fabrication de béton poreux.

Ce type de centrale n'offrant pas de stockage suffisant pour suivre le rythme des 1 000 t de ciment consommés quotidiennement, le groupement s'est appuyé sur une logistique irréprochable mise en place par la filiale Transport de Calcia qui complétait l'approvisionnement à partir de l'usine de Gargenville et d'un stock tampon situé à Chelles, lui-même alimenté par des péniches de 400 t.

Trois machines à coffrage glissant ont été mobilisées pour mettre en œuvre les quelques 130 000 m³ de béton de roulement. Deux principales, identiques, du type Gomaco GP 3000, l'une dédiée presque exclusivement à la piste elle-même, l'autre aux voies de circulation ; toutes les deux sur une largeur de 7,50 m. La troisième réalisant les bandes extérieures des voies de circulation sur une largeur de 4 m.

Cette flotte a permis d'atteindre des rendements maximaux approchant les 9 000 m² par jour, dont une part de réussite tient à l'emploi de système d'insertion automatique des goujons latéraux. Sans l'aide de ce type d'équipement, plus de 6 000 gou-

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Terrassements : 4,5 millions de m³

Traitements :

- 185 000 m³ de limons traités chaux + liant routier
- 25 000 t de chaux
- 20 000 t de liants routiers

Assainissements : 15 000 ml

Multitubulaires : 42 000 ml soit 500 km de fourreaux

Graves traitées : 150 000 m³

Béton poreux : 38 500 m³

Béton de revêtement : 145 000 m³

Goujons : 260 000 u

Fourreaux de balisage : 75 km

Grave bitume et enrobés : 70 000 t

Montant du marché : 440 millions de francs HT environ

La seconde GP 3000 du chantier suivie de la Spray Curing
The second GP 3000 on the project, followed by the Spray Curing unit

Photo 4



L'insertion automatique des goujons, avec le profil sinusoïdal en rive
Automatic insertion of dowels, with sinusoidal profile on edge

Photo 5

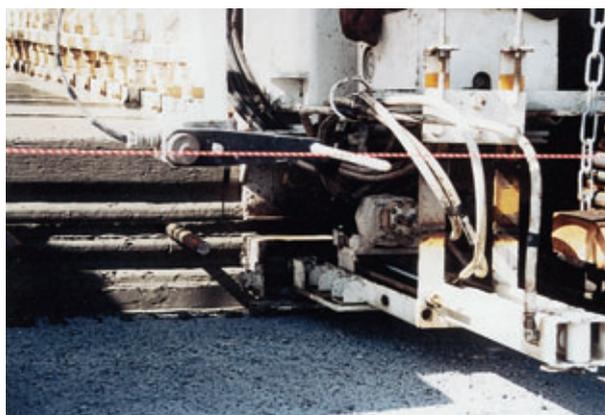


Photo aérienne de la piste 4 avant l'ouverture
Aerial photograph of motorway 4 before opening to service

Photo 6

Photo Softing Communication



jons par jour auraient dû être forés, puis scellés, de manière traditionnelle.

A contrario, si l'option en faveur de ces équipements complémentaires a été rapidement adoptée, l'emploi d'un matériel d'insertion des goujons transversaux des joints de retrait-flexion a été très vite écarté car il nécessite un investissement très lourd, même à l'échelle d'un chantier de cette impor-

tance, et pèse surtout sur la souplesse de fonctionnement.

Ceux-ci ont donc été placés sur paniers en aciers HA, positionnés à l'avancement devant les machines et fixés par *spits* sur le béton poreux.

Après le passage d'une taloche fixée sur une partie à l'arrière de la table de la machine, la Spray-Curing assure le balayage transversal du béton frais pour lui donner la rugosité recherchée, ainsi que la pulvérisation d'un produit de cure limitant la dessiccation de surface.

Les travaux de finitions

Le découpage des surfaces ne permettant pas toujours l'utilisation d'une machine à coffrage glissant, les rives des zones de raccordement ont été réalisées par deux à trois équipes de béton "manuel". Il ne reste alors qu'à scier, élargir puis garnir les joints, carotter les réservations pour le scellement des feux de balisage, réaliser le rainurage transversal favorisant l'écoulement des eaux pluviales, sur la piste exclusivement, tandis que se constituent les accotements drainants des voies et de la piste, tantôt recouverts de terre végétale puis engazonnés, tantôt constitués de 15 cm de graves traitées et de 3 cm d'enrobés pour les voies de circulation, ou 8 cm d'enrobés pour les accotements de piste.

Les massifs des deux rampes d'approche est et ouest ont débuté par la réalisation de colonnes ballastées, assurant la stabilité des massifs sur lesquels sont installés les feux. Diverses voies de service, après la réalisation de la déviation de la route périphérique sud, constitueront également une part non négligeable des travaux de finition. Comme toute chaussée, les travaux de signalisation horizontale et verticale ponctuent chaque phase de travaux.

Les contrôles

Le rythme soutenu des travaux a nécessité l'installation d'un laboratoire de chantier où étaient menés quotidiennement les essais classiques, tels que pourcentage en eau des agrégats rentrant dans la composition des bétons, pourcentage en eau du béton frais, pourcentage en air du béton frais (compris entre 3 à 6 %), séries d'éprouvettes pour les contrôles de résistance au fendage du béton (résistance caractéristique supérieure à 2,7 MPa à 7 jours et 3,3 MPa à 28 jours), densité, *slumps*...

Le groupement, s'est doté de plus, d'un module de contrôle qui enregistre les paramètres de fabrication, et signale les écarts en dehors des plages admissibles sur ce type de centrale.

Enfin, à la veille de l'ouverture, des mesures d'uni ont été faites par le laboratoire Technologies Nouvelles. Celles-ci mettent en évidence une qualité jugée très bonne par le laboratoire d'ADP.

■ CONCLUSION

Malgré un délai très tendu avec une date de mise en service fixée dès la fin de la période hivernale, sans dérapage possible du fait d'intempéries, le groupement Bouygues - GTM Construction - DTP Terrassement a su faire preuve d'une étonnante réactivité grâce à une excellente planification des travaux et un suivi rigoureux de tout dérapage.

C'est à ce prix que se gagnent de tels chantiers, complexes par leur étendue et leur absence de similitude vis-à-vis de chantiers linéaires.

Autre sujet de satisfaction, aucun accident grave n'est à déplorer sur ce chantier où plus de 600 personnes se sont côtoyées durant un an.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Aéroport de Paris

Maitre d'œuvre

Aéroport de Paris

Entreprises

Groupement Bouygues (mandataire) - GTM Construction - DTP Terrassement

Terrassements

- DTP
- GTM Construction

Réseaux et chaussées souples

Groupement E.J.L. (mandataire) - Viafrance - SCREG - Gerland

Chaussées rigides

- Bouygues (mandataire)
- GTM Construction

Fournisseurs

- Calcia : Ciment
- Orsa : Sable 0/4
- G.C.A : gravillons
- Sika : adjuvants

Sous-traitants

- Isotech : sciages et joints
- Saniez : clôtures
- Sar : marquage

ABSTRACT

Roissy Airport Runway 4 and taxiways

J. Gonet, Fr. Debain, C. Massenet

Runway 4 at the Roissy - Charles de Gaulle Airport near Paris was put into service last 5 November in compliance with the targets set : one year to coordinate almost 600 people, move 4.5 million cu. m, a large part of which took place during winter, such was the challenge met by Aéroport de Paris, which chose the consortium of Bouygues - GTM Construction - DTP for this purpose. ADP preferred the rigid concrete pavement design for the construction of 360,000 sq. m of airport surfacing. Three slipform machines placing the concrete for the wearing course achieved outputs of 9,000 sq. m per day. They required the support of two continuous 500 t/h and 1,000 t/h mixing plants to produce the 38,500 cu. m of porous concrete and 145,000 cu m of surfacing concrete required in less than four months.

The inspection of concrete manufacturing facilities, the levelling of the surfaces and, finally, the evenness of these pavements yielded results in conformity with the specifications of the client.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Flughafen Charles-de-Gaulle in Roissy Startbahn 4 und Verkehrspisten

J. Gonet, Fr. Debain, C. Massenet

Die Startbahn 4 des Flughafens Roissy Charles-de-Gaulle ist am 5. November 1998 eingeweiht worden, so daß eine ehrgeizige Herausforderung als erfolgreich abgeschlossen gelten kann : ein Jahr Zeit für die Koordination von 600 Personen und die Bewegung von 4,5 Millionen Kubikmetern (ein Großteil davon im Winter) – so lautete die Vorgabe der Aéroports de Paris (ADP), die für die Ausführung die Arbeitsgemeinschaft Bouygues – GTM Construction – DTP Terrassements ausgewählt hat. Für die 360 000 Quadratmeter luftfahrttechnischer Beschichtung hat ATP der Lösung des starren Oberbaus aus Beton den Vorzug gegeben.

Ein Takt von 9 000 Quadratmeter pro Tag ist mit drei Gleitschalungsfertigern beim Einbau der Deckschicht erreicht

worden ; zwei Mischanlagen mit einer kontinuierlichen Fertigungskapazität von 500 t/h und 1000 t/h waren erforderlich, um in weniger als 4 Monaten die 38 500 Kubikmeter Porenbeton und 145 000 Kubikmeter Deckschichtbeton herzustellen.

Die bei den Fertigungskontrollen des Betons, der Abgleichung der Oberflächen und der Ebenheit des Oberbaus erzielten Ergebnisse entsprechen den Forderungen des Federführers.

RESUMEN ESPAÑOL

Aeropuerto de Roissy (París Charles de Gaulle) Pista 4 y calles de rodaje

J. Gonet, Fr. Debain y C. Massenet

La pista 4 del aeropuerto de Roissy - Charles de Gaulle) fue abierta al tráfico el pasado 5 de noviembre, poniendo así un punto final a la decisión tomada a este respecto : un año para coordinar la acción de 600 personas, desplazar 4,5 millones de metros cúbicos, cuya mayor parte se efectúa en periodo invernal, este y no otro ha sido el reto logrado por el Aéroport de Paris, que ha seleccionado al grupo Bouygues - GTM Construction - DTP Terrassement para solucionar el problema planteado. La solución consistente en pavimentos rígidos de hormigón ha sido la preferida por Aéroport de Paris para la construcción de los 360 000 m² de revestimientos de las pistas aeronáuticas.

Se han alcanzado así ritmos de trabajo de 9 000 m² diarios por medio de tres máquinas de encofrado continuo para la aplicación de la capa de rodadura de hormigón. Se ha precisado el empleo, para tal fin, de dos centrales continuas de 500 t por hora y de 1 000 t por hora para producir, en menos de cuatro meses, los 38 500 m³ de hormigón poroso y los 145 000 m³ de hormigón de revestimiento.

Los controles de fabricación de los hormigones, la nivelación de las superficies y, finalmente, la regularidad de estos pavimentos, han dado resultados de conformidad con los requerimientos del responsable técnico.

La piste de karts de Une course contre la montre

Pour la sixième année consécutive, Gercif Emulithe, filiale d'Eurovia, a réalisé le revêtement de la piste de karting de la compétition "Elf Masters" au Palais Omnisports de Paris Bercy. Ce revêtement présente la particularité d'être mis en œuvre sur un support inhabituel pour un enrobé routier; sa formulation fait appel à un liant haut de gamme, bitume fortement modifié par un polymère, de type Styrelf. Le chantier se déroule de nuit dans des délais très brefs. A l'issue de la compétition, le revêtement est démonté et la surface du support rendue dans son état initial.

■ PRÉSENTATION

La sixième édition de la compétition de karts "Elf Masters" s'est déroulée au Palais Omnisports de Paris-Bercy (POPB) les 28 et 29 novembre derniers. Elle a permis aux meilleurs pilotes mondiaux de la spécialité de s'affronter – mais également aux pilotes de Formule 1 et d'Indy Cart, ainsi qu'aux champions de moto Grands Prix et Endurance – de changer de montures et d'offrir aux très nombreux spectateurs présents un fabuleux spectacle. Bien que relativement léger (moins de 150 kg), le kart est un engin qui sollicite extrêmement les revêtements sur lesquels il évolue. Il exerce une pres-

Dans le cas de la piste du POPB, il n'est pas possible de coller le revêtement sur le support par suite de la nature de celui-ci et des conditions d'exploitation du site. On comprend mieux ainsi les qualités du revêtement en enrobé spécial formulé, mis au point par Eurovia et appliqué avec succès depuis l'origine des "Elf Masters" par sa filiale Gercif Emulithe. Pourtant mis en œuvre dans des conditions contraignantes, liées au site et au délai d'exécution très court, cet enrobé procure un confort de conduite reconnu par tous les coureurs et un niveau de fiabilité élevé apprécié par les organisateurs de la compétition.

■ LE SUPPORT

Le support de la piste du POPB présente la particularité d'être constitué d'une dalle de béton sur 40 % de sa surface et de bois sur 60 %. En effet, le plateau du Palais est évidé dans sa partie centrale pour être éventuellement rempli d'eau et servir de patinoire. Pour d'autres utilisations, cette zone de 6 à 7 cm de profondeur est comblée à l'aide de panneaux de contreplaqués CTBX de 2 m x 1,20 m et de 22 mm d'épaisseur. Trois épaisseurs sont posées les unes sur les autres et les panneaux des deux dernières couches sont vissés successivement aux panneaux sous-jacents pour éviter des mouvements ou des déformations préjudiciables à une mise en œuvre correcte et à la bonne tenue du revêtement final. Après la compétition, le revêtement est enlevé et la surface doit être restituée dans son état initial; il n'est donc pas possible de répandre sur ce support une couche d'accrochage en émulsion de bitume comme sur un chantier routier courant.

■ LE REVÊTEMENT

Pour répondre au mieux aux sollicitations spécifiques de cet ouvrage, la Direction Technique de l'entreprise a choisi un béton bitumineux dont le liant est un bitume polymère Styrelf. Ce liant est obtenu par un procédé original de réticulation; il présente un degré de modification très élevé, un caractère élastomérique prononcé, une cohésion importante et une faible susceptibilité thermique (tableau I). L'enrobé est formulé suivant une composition granululaire 0/10 continue, à base de matériaux entiè-

Photos Eric Benard



Photo 1
Atelier
de mise en œuvre
du revêtement
*Surfacing
application plant*

sion au sol relativement faible mais, n'étant pas équipé de différentiel, il produit des efforts tangentiels de cisaillement considérables dans les virages. Le système de freinage provoque également des sollicitations élevées d'arrachements. De plus, le passage répété des karts sur une même trajectoire conduit à un dépôt de la gomme de leurs pneumatiques sur la surface des revêtements, dépôt sur lequel les pneumatiques échauffés ont tendance à coller en induisant ainsi un effet d'arrachement des revêtements de leurs supports.



Photo 2
Enrobé
sur les panneaux de bois
Asphalt on wooden panels

Tableau I
Identification
du liant Styrelf de Bercy
*Identification
of Styrelf binder used at Bercy*

Pénétrabilité à 25°C Norme NFT 66-004	mm/10	40 à 55
Point de ramollissement bille et anneau Norme NFT 66-008	°C	67 à 75
Point de fragilité Fraass Norme T 66-026	°C	≤ -18
Intervalle de plasticité	°C	≥ 85

Paris Bercy

Pierre-Marie



Spillemaecker
DIRECTION TECHNIQUE
Eurovia

Pierre Monlucq

CHEF D'AGENCE
Gercif Emulithe (groupe Eurovia)

rement concassés provenant de la carrière de la Noubleau (Vendée).

La fabrication de l'enrobé a été effectuée par la centrale discontinue Ammann Euro 2000 de Gercif Emulithe. Cette centrale, d'une capacité de 240 t/h, est située à Villeneuve-le-Roi, soit à 23 km du chantier du POPB. Neuf camions de 15 t ont assuré le transport de l'enrobé.

■ LA MISE EN ŒUVRE

L'application de l'enrobé a fait l'objet d'un calepinage préalable très précis afin de tenir compte de la spécificité de l'ouvrage. Les joints longitudinaux ont été exécutés "chaud sur chaud" et les inévitables joints froids, en particulier les joints transversaux en extrémités de bandes, ont été sciés avant reprise.

Un finisseur ABG 323 a été utilisé. La largeur de mise en œuvre a été limitée à 4 m pour la partie béton et 3 m pour la partie bois afin de limiter la quantité d'enrobé dans les vis, cet enrobé ayant tendance à glisser sur le support. Le compactage a été effectué à l'aide d'un cylindre vibrant Dynapac CC 222 de 7,5 t et d'un Bomag BW 130 de 2,5 t. Une plaque vibrante a conforté le compactage le long des murs en périphérie du plateau.

Après le compactage et avant refroidissement de l'enrobé, un cylindre manuel Bomag BW 70 est intervenu transversalement sur les joints longitudinaux pour éviter la remontée des joints des plaques de bois.

A noter qu'un atelier de mise en œuvre complet supplémentaire était prévu sur le site en cas de déficience de l'atelier principal.

Cinq centimètres d'enrobés ont été appliqués sur les 4 000 m² de la piste, soit environ 500 t d'enrobés.

L'application des enrobés a commencé mercredi 25 novembre à 22 heures et s'est terminée jeudi 26 à 7 heures. L'ouvrage a alors pu être livré par Gercif Emulithe pour les aménagements de la piste d'une longueur de 600 m prévue pour la compétition : marquage du tracé, pose des murets et balises de sécurité, installation des systèmes de chronométrage, etc.

■ AUTRES TRAVAUX

Une des particularités du circuit de karts de Bercy est de comporter un passage dans les coursives

du Palais des Sports. Le revêtement de ces coursives est constitué d'un enrobé percolé réalisé par Gercif Emulithe il y a quelques années; il a été grenailé pour lui redonner des caractéristiques de surface compatibles avec la circulation des karts. Le raccordement de l'enrobé de l'enceinte centrale aux coursives a été effectué sur une longueur de 15 m après fraisage préalable du revêtement en place sur 5 cm d'épaisseur, à l'aide d'une fraiseuse Wirtgen 1000 de l'entreprise.

Quatre logos Eurovia ont été peints sur la piste; trois de 6 m x 4 m et un de 4 m x 2,50 m. C'est à GTU, filiale d'Eurovia, qu'a été confiée cette opération. Ces travaux ont été exécutés au pochoir en utilisant des peintures routières bleues, blanches et rouges répandues au pistolet. Un travail de précision exécuté par trois personnes en 4 heures. TSS, filiale d'Eurovia, a mis en place les balisages latéraux de la piste sur le plateau et dans les coursives; au total 300 m de balises plastiques.



Photo 3
Mise en œuvre
le long des tribunes
*Application along
the grandstands*



Photo 4
La dernière
bande
The last strip

Contrairement aux autres années, le revêtement appliqué restera en place quelques semaines après la compétition. Il sera démonté en janvier 1999. Cette opération s'effectuera par fraisage sur 3 à 3,5 cm d'épaisseur, puis enlèvement des matériaux restant en place à l'aide d'un petit chargeur équipé d'un godet sans dents pour éviter de détériorer les supports.

Les enrobés seront récupérés, ramenés à la centrale de Villeneuve-le-Roi et réutilisés ultérieurement en couches de forme ou pistes de chantiers. A noter que durant les deux jours de la compétition, une équipe de l'agence Gercif Emulithe était d'astreinte et prête à intervenir pour tout problème de maintenance sur le revêtement de la piste en cas d'accident.

■ CONCLUSION

Encore une fois Gercif Emulithe a remporté son challenge : construire en un temps record une piste de karts performante fiable et "démontable".

Les pilotes ont jugé positivement le revêtement qui leur a procuré le "grip" qu'ils affectionnent et n'a donné lieu à aucun arrachement ni aucune fissure après deux jours de compétitions intensives.

La certification ISO 9002 de l'agence Gercif Emulithe de Villeneuve-le-Roi n'est pas le fait du hasard!



Photo 5
Vue générale du plateau
General view of area

ABSTRACT

Go-cart track at the Bercy stadium in Paris :

P.-M. Spillemaecker, P. Monluq

For the sixth consecutive year, Gercif Emulithe, subsidiary of Eurovia, supplied the surfacing for the go-cart track for the "Elf Masters" competition at the Bercy stadium (Palais Omnisports) in Paris. This surfacing was characterised by the fact that it was placed over an unusual support for road asphalt. Its mix design used a high-grade binder, a highly polymer-modified bitumen of the Styrelf type. The work was completed at night within a very short deadline. Following the racing events, the surfacing is removed and the original surface is restored to its initial condition.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Kartingbahn im Pariser Sportpalast :

P.-M. Spillemaecker, P. Monluq

Zum sechsten Mal hintereinander hat Gercif Emulithe, eine Tochtergesellschaft von Eurovia, die Beschichtung der Kartingbahn für das Rennen "Elf Masters" im Sportpalast Paris-Bercy hergestellt.

Diese Beschichtung zeichnet sich durch den Einsatz eines Straßenbauasphalts auf einem ungewöhnlichen Unterbau aus. In die Rezeptur des Asphalts fließt ein hochwertiges Bindemittel ein, und zwar ein durch ein Polymer vom Typ Styrelf stark modifiziertes Bitumen. Die Arbeiten müssen nachts in sehr kurzer Zeit abgewickelt werden. Nach Abschluß des Rennens wird die Deckschicht abgebaut und die Tragschicht in ihrem ursprünglichen Zustand wieder hergestellt.

RESUMEN ESPAÑOL

Pista para karts de Bercy :

P.M. Spillemaecker y P. Monluq

Por sexto año consecutivo, Gercif Emulithe, filial de Eurovia, ha ejecutado el revestimiento para carreras de karts de la competición "Elf Masters" en el Palacio Omnídeportivo de París Bercy. Este revestimiento presenta la particularidad de ser puesto en obra sobre un soporte desacostumbrado para un aglomerado viario. Su formulación cor-

responde a un aglomerante de gama de calidad superelevada, o sea, betún fuertemente modificado por un polímero de tipo Styrelf. Las obras se han desarrollado durante la noche dentro de plazos sumamente reducidos.

Al final de la competición, se desmonta el revestimiento y la superficie del soporte inicial vuelve a recuperar su estado anterior.

Les terrassements de l'autoroute A 404

L'autoroute des Atlantes

L'autoroute A 404 réalisée 10 ans après l'autoroute A 40, "des Titans" mérite bien le titre d'autoroute des "Atlantes".

Desservant Oyonnax, capitale de la plasturgie, elle a dû surmonter de nombreux obstacles. En effet, qui pouvait imaginer que sur moins de 14 km, on rencontre :

- tout d'abord une zone de plaine, inondable et très fortement compressible dans laquelle a été implanté de façon très exceptionnelle, un nœud routier associé à un diffuseur, le tout traversé par trois rivières à caractère torrentiel;
- puis une zone de montagne pour laquelle la seule solution a été de s'accrocher à ses flancs, dans les éboulis et les marnes, compte tenu de l'occupation de la vallée;
- et à nouveau une zone inondable et compressible bordée d'habitations dans laquelle a été implantée la barrière de péage pleine voie.

En résumé une opération extrêmement complexe, mais vitale pour le développement économique de cette dynamique région.

André Thiboud
CONDUCTEUR D'OPÉRATIONS
Direction de la Construction
SAPRR

Les travaux de terrassement de l'autoroute A 404 ont rencontré à la fois les contraintes hydrauliques d'une autoroute de plaine inondable et les contraintes topographiques d'une autoroute de moyenne montagne. Un tel contexte impliquait des terrassements difficiles mais il a aussi imposé la réalisation d'une quantité importante d'ouvrages qui ont considérablement compliqué les transports de matériaux. Enfin, à ces problèmes d'organisation des terrassements s'est ajoutée la présence de sols compressibles dans des zones de forts remblais.

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le tracé se développe essentiellement le long du flanc ouest d'un long pli orienté Nord-Sud, occupé au nord par la vallée du Lange et au sud par les alluvions fluvio-lacustres de la vallée de l'Oignin. Les flancs de ce pli sont formés de séries marno-calcaires recouvertes par des formations morainiques, des dépôts fluvio-glaciaires disposés en terrasses, des alluvions d'origine fluvio-lacustre et des éboulis de pente.

L'autoroute A 404 traverse trois secteurs bien distincts : la vallée de l'Oignin et la plaine de Brion, la Combe du Château et les versants rocheux surplombant le Lange et la vallée du Lange (figure 1).

La vallée de l'Oignin et la plaine de Brion

Du point de vue hydrogéologique, la vallée de l'Oignin et du Lange sont occupées par une nappe alluviale peu profonde et sont fréquemment inondées. Les fonds de la vallée de l'Oignin et de la plaine de Brion sont constitués d'alluvions essentiellement limono-argileuses avec des passées graveleuses. Celles de l'Oignin sont cependant particulièrement argileuses car d'origine fluvio-lacustre. L'épaisseur de ces alluvions est très variable (de 2 à plus de 15 m). Ces sols compressibles ont posé un problème particulier à proximité du nœud autoroutier de Saint-Martin-du-Fresne et dans la plaine de Brion où les remblais atteignent 10 m. En effet, sous de telles hauteurs de remblais les tassements pouvaient atteindre 1 m.

La Combe du Château et les versants rocheux surplombant le Lange

L'autoroute parcourt une dénivellée de 75 m dans la Combe du Château, puis s'inscrit sur le versant abrupt de la rive ouest du Lange, pour replonger enfin vers le fond de la vallée sur la commune de Groissiat, en direction d'Oyonnax.

Les terrains rencontrés sont très variables :

- ◆ dans la Combe du Château, on rencontre des ter-

Jacques Martin

DIRECTEUR
DE PROJET A 404
Scetauroute

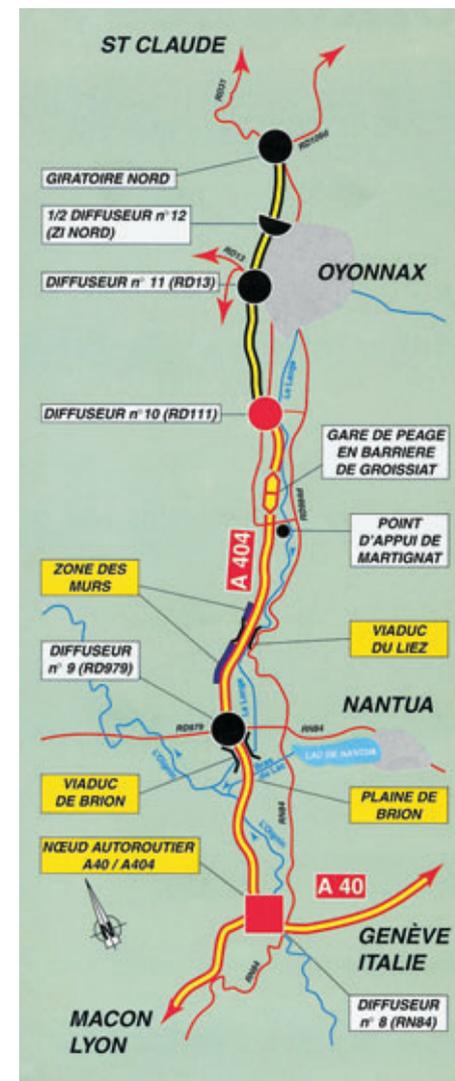


Figure 1
Tracé
de l'autoroute A 404
Alignment of A 404

Photo 1
L'emprunt de Colléjard
et sa station
de concassage

*The borrow of Colléjard
and its crushing station*



► rains meubles, des éboulis de pente plus ou moins cimentés dont certains blocs atteignent les 5 m³. L'épaisseur de cette formation est généralement faible (2 à 5 m). Ce secteur est surplombé par une falaise présentant des risques de chutes de blocs ;

◆ en versant, sous une fine couche d'éboulis on rencontre des terrains rocheux très variables puisque le tracé traverse en biais les séries stratigraphiques du jurassique supérieur et du crétacé inférieur très redressées, voire verticales.

Ces séries très hétérogènes, souvent présentes en petits bancs, vont de calcaires massifs en banc épais, au sud, à des marnes de qualité très médiocre, au nord.

C'est dans un tel terrain que les déblais de l'autoroute ont réactivé un glissement fossile qui a dû être conforté dans le cadre des travaux.

Ainsi, ce secteur de fortes pentes pose deux problèmes : la réalisation de murs de soutènement complexes (clouage, ancrage et massifs en Terre Armée) et l'exécution de déblais nécessitant des tirs à l'explosif à proximité de zones habitées.

La vallée du Lange

Elle est occupée par des dépôts fluvio-glaciaires disposés en terrasses dont l'épaisseur varie entre 5 et 20 m. Il s'agit de graves grossières à matrice sableuse ou limoneuse comprenant des éléments dont le volume peut dépasser le mètre cube. On y trouve aussi des lentilles argileuses ou sableuses. Dans cette zone certains versants se sont révélés être en limite de stabilité.

Au nord de la section, au fond de la vallée du Lange, on trouve une accumulation sur 15 m de hauteur de matériaux fins d'origine lacustre.

Ces matériaux sont compressibles et le tassement attendu est de l'ordre de 70 cm.

Les terrassements de l'autoroute A404 font donc face à deux problèmes principaux : la réalisation de hauts remblais sur des sols fortement compressibles et des terrassements à flanc de montagne nécessitant d'importants soutènements en

proximité de zones d'habitation. Enfin, le chantier de terrassement a été pénalisé par la présence de nombreux ouvrages (murs de soutènement, viaducs, ouvrages d'art courants et hydrauliques) qui ont compliqué la circulation des matériaux pendant une grande partie du chantier.

■ LES TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX - UN CHANTIER MORCELÉ

Les volumes

Les déblais du projet représentent 2,1 millions de m³ dont environ 50 % en rocher. 1,9 millions de m³ de remblais ont été réalisés dont 1 million de m³ proviennent de la réutilisation des déblais, 700 000 m³ de l'emprunt de Colléjard et 200 000 m³ du creusement du deuxième tube du tunnel de Chamoise. A ce volume de remblais courants, s'ajoutent 740 000 m³ de matériaux élaborés (dont 100 000 m³ de provenance extérieure) destinés aux remblais des massifs en Terre Armée, aux bases drainantes et aux couches de forme. Restent 1 million de m³ de matériaux impropres, employés uniquement pour des aménagements paysagers, hydrauliques ou antibruit.

L'emprunt de Colléjard et le réemploi

L'emprunt de Colléjard a été le véritable atout de ce projet avec ses 1,6 millions de m³ de calcaire d'excellente qualité, à proximité immédiate du chantier (photo 1). Toutefois, cet unique emprunt étant situé au sud de l'A404, la zone des murs constituait une zone d'étranglement et posait des problèmes d'approvisionnement en matériaux de la partie nord du chantier, particulièrement déficitaire. En effet, il n'a pas toujours été possible de faire transiter les matériaux de l'emprunt de Colléjard par ce secteur, aussi a-t-on eu recours à des transports par la voirie locale.

Dans un tel contexte, une réutilisation importante des matériaux du site a permis de limiter les transports entre le nord et le sud de ce chantier. C'est dans cet objectif que les marnes du nord du chantier ont été utilisées en noyau de remblais. En outre, les dépôts étant nécessairement limités dans les fonds de vallée urbanisés, une réutilisation maximale des matériaux localement disponibles se révélait indispensable.

L'allotissement

L'allotissement retenu pour ce chantier tient compte de ces problèmes d'organisation. Il se décompose en deux lots de terrassement :

◆ un premier lot concerne le secteur des murs (grou-

pement Perrier - GFC). Ce marché a été lancé en avril 1995, soit 4 mois avant le reste des terrassements, afin de libérer au plus vite ce goulet d'étranglement et assurer la continuité du chantier. Autonome sur le plan des matériaux, les terrassements de cette section pouvaient être menés à bien indépendamment du reste du chantier;

◆ un second lot (Spada - Chantiers Modernes) concerne la plus grande partie des terrassements de la section. Le marché a été lancé en août 1995 et comprend les travaux des terrassements généraux de part et d'autre du secteur des murs ainsi que l'exploitation de l'emprunt de Colléjard et la réalisation des couches de forme sur l'ensemble du projet.



Photo 2
Remblai de préchargement de la plaine du Brion réalisé par phases pour garantir la transparence hydraulique

Pre-loading embankment in the Brion plain completed in phases to guarantee hydraulic transparency

■ LES SOLS COMPRESSIBLES DANS LA PLAINE DE BRION ET EN FIN DE SECTION

Le nœud autoroutier de Saint-Martin-du-Fresne, la plaine du Brion et le secteur sud d'Oyonnax, à la fin de la section, ont posé des problèmes particuliers. Il fallait effectivement réaliser, sur des sols compressibles, de hauts remblais, indispensables en zone inondable. L'importance des tassements attendus et la présence de nombreux ouvrages ont imposé le préchargement des sols ainsi que l'accélération de la consolidation par des drains verticaux. Devant la complexité du problème, la Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône a décidé de réaliser un remblai expérimental, en travaux préparatoires.

Le remblai expérimental de la plaine du Brion

Un remblai expérimental a été réalisé pour mieux visualiser le comportement du sol en compression et connaître les coefficients de consolidation radiale et verticale. Le but de ces recherches était d'optimiser le réseau de drains et de prendre la mesure du tassement résiduel. Il fallait aussi confirmer l'amélioration des caractéristiques mécaniques du sol support liée à la consolidation et élaborer la stratégie de préchargement à adopter (en une, deux ou trois phases).

Ce remblai expérimental a été réalisé sur la rive gauche du Lange, en novembre 1994, soit six à sept mois avant le lancement des marchés de terrassement. Dans ce secteur, le contexte géologique était celui d'un dépôt d'argile lacustre sur une épaisseur d'environ 40 m, dont 15 m fortement compressibles, avec la présence d'une couche superficielle sablo-argilo-graveleuse sur les six premiers mètres. D'une longueur de 80 m, le remblai a nécessité 27 000 m³ de matériaux d'apport mis en place sur une base drainante de 2 000 m³ et des drains de 20 m de profondeur réalisés selon

une maille moyenne de 2 m x 2 m, soit 40 km de drains verticaux.

Ce remblai expérimental a permis de suivre pendant sept mois le comportement de ces matériaux. Il a été riche d'enseignements pour la conception des DCE terrassement. En effet, ce chantier expérimental a permis de vérifier les coefficients de consolidation, de choisir le type de drains adéquats (des drains plats résistant à la compression), de définir le maillage approprié (1,5 m x 1,5 m) et de choisir une construction du remblai en deux phases.

Les remblais sur sols compressibles

Le chantier de remblai dans la zone de terrains compressibles s'est déroulé sur 7 mois.

Les remblais de préchargement

La réalisation de remblais de préchargement (photo 2) avec drainage vertical a été utilisée pour la plupart des remblais situés en plaine alluviale (360 000 m³). Pour monter ces remblais, l'entreprise applique successivement sur le terrain naturel un géotextile puis, une base drainante en matériaux 20/80 d'un mètre d'épaisseur et procède ensuite au forage des drains verticaux. A partir de cette assise drainante, les remblais de préchargement sont montés sur une hauteur de 5 à 6 m. Les drains ont été réalisés selon un maillage de 1,5 x 1,5 m, sur 30 m de profondeur. Au total, 650 km de drains verticaux ont ainsi été exécutés, dont 400 km dans le cadre d'un marché de travaux préparatoires. Les tassements observés sont compris entre 0,6 m et 1,2 m.

Le remblai sur sols compressibles situé à l'extrême nord de la section, d'une hauteur de cinq à sept mètres, a subi un tassement de 0,7 m. Une instabilité latérale a été constatée et résolue par la mise en œuvre de plots ballastés mis en place par compactage dynamique.

Par ailleurs, dans la plaine inondable de Brion, pour assurer la transparence hydraulique du chantier en

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Remblais total

2 000 000 m³

Déblais total

2 150 000 m³

Emprunt du Colléjard

1 600 000 m³

Volume de dépôts

1 000 000 m³

Murs de soutènement

- Ancrés : 2 000 m²
- Cloués : 7 000 m²
- Terre Armée : 15 000 m²

Drains verticaux

650 km

Remblais allégés

- Polystyrène : 27 000 m³
- Nidaplast : 3 000 m³

Figure 2
Le phasage
des travaux
Work phases

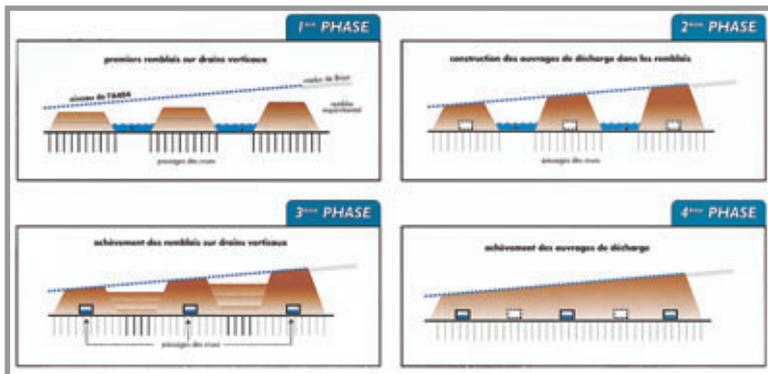


Photo 3
Remblais en polystyrène
à proximité de l'A40
*Polystyrene fill
near motorway A 40*

*Polystyrene fill
near motorway A 40*



Photo 4
Nœud autoroutier de Saint-Martin-du-Fresne
en travaux. On notera la forte interaction
entre le diffuseur actuel et le futur nœud
autoroutier ainsi que la présence
de remblais allégés
*Motorway node of Saint-Martin-du-Fresne
during works. Note the strong interaction
between the present interchange and the
future motorway node, as well as the
presence of lightweight
embankment materials*

*Motorway node of Saint-Martin-du-Fresne
during works. Note the strong interaction
between the present interchange and the
future motorway node, as well as the
presence of lightweight
embankment materials*



Photo 5
Zone des murs. Les pistes
servent à la desserte interne
du chantier mais ne permettent
pas le passage du charroi
de terrassement
*Wall zone. The tracks provide
internal access to the site,
but do not allow
the passage for haulage*

*Wall zone. The tracks provide
internal access to the site,
but do not allow
the passage for haulage*



phase travaux, il a été nécessaire de ménager le passage des crues à travers les remblais de pré-chargement des ouvrages de décharge. Ceux-ci ont donc été réalisés selon un phasage alternant zone libre et zone remblayée (figure 2).

A la mise en service de l'autoroute, le tassement de la zone compressible de la plaine de Brion n'était pas encore stabilisé, ce qui pose notamment un problème de compatibilité avec le viaduc de Brion. Une procédure de suivi à long terme du remblai a alors été adoptée. Elle permet de mesurer l'évolution du remblai et de déclencher, quand cela s'avère nécessaire, une intervention de dévêrinage sur les piles du viaduc de manière à absorber le tassement de la culée au contact du remblai en répartissant les déplacements sur les premiers appuis. Ces opérations doivent préserver l'intégrité du tablier du viaduc.

Les remblais allégés

A proximité du nœud autoroutier de Saint-Martin-du-Fresne, pour ne pas déstabiliser les remblais et les ouvrages de l'A40 en service, neuf massifs de remblais allégés en blocs de polystyrène d'une densité de 20 kg/m³ ont été réalisés. Ceci représente un volume d'environ 27 000 m³ de blocs de polystyrène (photo 3). Sept massifs, soit 3 000 m³ de Nidaplast (matériau de type nid d'abeille de 40 kg/m³ de densité), ont été réalisés dans les parties immergées ou risquant de l'être, dans les zones jouxtant l'autoroute en service et/ou l'emplacement de l'ancien lit de la rivière de l'Oignin. Le Nidaplast permet la remontée de nappe ou d'inondation sans risquer de déjauger le remblai (photo 4).

LE SECTEUR DES MURS DE SOUTÈNEMENT

Des murs se dressent sur une distance de deux kilomètres le long de l'A404. Cette zone des murs constitue le secteur le plus complexe mais aussi le plus impressionnant du chantier. Des chaussées dénivelées et décalées ont été édifiées peu après la Combe du château, située sur la commune de Montréal-la-Cluse. Le tracé évolue alors dans des versants abrupts dont la pente transversale peut atteindre 70 %. Dans ce secteur 25 000 m² de murs de soutènement ont été édifiés (2 000 m² de murs ancrés, 7 000 m² de murs cloués et 16 000 m² de murs en Terre Armée). Pour ce chantier 150 000 m³ de matériaux élaborés, nécessaires pour la construction des murs en Terre Armée (0/150 et 20/80), ont été élaborés par concassage des déblais dans une centrale installée dans la Combe du Château. Ce secteur était donc totalement autonome en matériaux.

Le phasage de ces travaux a toutefois été particulièrement difficile puisque les terrassements des murs de soutènement se font de l'amont vers l'aval

alors que la construction des massifs en Terre Armée progressent de l'aval vers l'amont. On comprend donc que, sur ce même versant où de nombreuses opérations étaient simultanées et superposées, les problèmes de sécurité et d'organisation concernant les tirs à l'explosif, les transports internes et externes mais aussi la nécessité de s'assurer à tout moment de la stabilité locale et générale, ont été la principale problématique du chantier (photo 5).

■ CONCLUSION

L'autoroute A404, entre l'autoroute A40 et le diffuseur de la RD111, concentre, sur un linéaire réduit de 14 km, un nombre impressionnant de difficultés géologiques, hydrauliques, topographiques et environnementales qui ont conduit à la réalisation de très nombreux ouvrages. Ces ouvrages ont compliqué la circulation des matériaux nécessaires aux terrassements, tandis que la présence de sols compressibles nécessitait un préchargement et une consolidation accélérée par drainage des remblais en zone compressible. Cette autoroute a donc rencontré les difficultés propres à la réalisation d'importants ouvrages dans un contexte géologique vraiment peu propice, ceci à proximité d'une autoroute en activité et d'habitations.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

SAPRR

Maitre d'œuvre

Scetauroute

Entreprises

- Perrier
- GFC
- Spada
- Chantiers Modernes

ABSTRACT

Earthworks on motorway A 404 A motorway with every constraint

J. Martin

The alignment of motorway A 404, which runs through a flood plain as well as along steep slopes, involved earthworks over a distance of only 14 km but encountering significant hydraulic, topographical and geological constraints. Retaining walls built in the sometimes unstable slopes, a worksite studded with structures complicating the movement of materials, blasting required near inhabited areas, a connection to motorway A 40 complicated by the presence of an interchange in service, the need to use lightweight materials for embankments near the A 40, compressible soils in heavy embankment areas requiring pre-loading, and hydraulic transparency to be provided during the pre-loading operations are examples of the constraints involved. It was thanks to proper coordination between all the players on this project that the earthworks for this motorway could be completed successfully.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Die Erdarbeiten der Autobahn A 404 Die Autobahn der schwierigsten Bedingungen

J. Martin

Da die Streckenführung der A 404 sowohl durch ein flaches Überschwemmungsgebiet als auch über ausgeprägte Neigungen verläuft, waren die nur 14 km langen Erdarbeiten mit komplexen hydraulischen, topographischen und geologischen Gegebenheiten konfrontiert. Der Bau von Stützmauern an teilweise instabilen Talflanken; Bauwerke im Bereich der Baustelle, die die Herbeischaffung der Baustoffe erschwerten; der unvermeidbare Sprengstoffeinsatz in der Nähe von Wohngebieten; die durch eine ständig befahrene Anschlußstelle erschwerte Herstellung der Verbindung mit der Autobahn A 40; der erzwungene Einsatz von leichten Baustoffen für die Aufschüttungen in der Nähe der A 40; die verdichtbaren Böden im Bereich umfangreicher Aufschüttungen, die eine Vorbelastung

erforderten und die hydraulische Transparenz, die auch während der Vorbelastung sicherzustellen war... Ohne die hervorragende Koordination zwischen allen Handelnden auf dieser Baustelle hätten die Erdarbeiten für diese Autobahn sicherlich nicht erfolgreich zu Ende geführt werden können.

RESUMEN ESPAÑOL

Los movimientos de tierras de la autopista A 404 La autopista que ha presentado todas las dificultades imaginables

J. Martin

El trazado de la autopista A 404, que se desarrolla tanto en planicie inundable como en vertientes de pendientes pronunciadas, ha tenido que sortear importantes escollos de carácter hidráulico, topográfico y geológico al proceder a las obras de movimientos de tierras en un tramo de tan sólo 14 km. Así, los muros de contención se han tenido que construir en pendientes inestables en muchos casos, y las obras estaban subdivididas por la necesidad de estructuras que venían a complicar la circulación de los materiales, voladuras con explosivos indispensables en las cercanías de zonas de viviendas, un empalme con la A 40 complicado por la presencia de un repartidor de tráfico en actividad, la necesidad de recurrir a materiales ligeros para los terraplenes cercanos de la A 40, suelos incompresibles en zonas de fuertes terraplenes que han necesitado operaciones de precarga y una transparencia hidráulica para poder garantizar también el lapso de precarga, etc. Estas obras de movimientos de tierras se han podido llevar a buen término debido a la perfecta coordinación que ha reinado entre todos los protagonistas de esta operación.

L'autoroute A 39

Stratégie des terrassements

Argiles, limons, sables gorgés d'eau... Ce n'est qu'au prix d'un empierrement régulier avec des matériaux en provenance du Jura que les chemins de Bresse ont été rendus praticables. Même les maisons de cette vaste plaine alluviale, faute de pierres, sont faites de briques. Des drains datant de l'époque gallo-romaine montrent que les hommes se confrontent depuis toujours à l'omniprésence de l'eau dans les sols fins de ce très ancien delta qui s'est légèrement relevé au moment de la surrection du jura. Tout dans le paysage de la Bresse évoque la difficulté à construire. Dans un tel contexte, les terrassements de l'autoroute A 39 se sont révélés être un véritable défi.

LE CONTEXTE

Une géologie difficile

Entre Dole et Bourg-en-Bresse, sur les 109 km de son tracé, l'autoroute A 39 présente la particularité de traverser des terrains constitués essentiellement de sols fins (argiles limoneuses à sableuses et sables). Seuls, quelques graves alluvionnaires sont présentes au nord et au sud, et un éperon rocheux très fissuré, au centre (figure 1).

Ces sols fins, particulièrement hétérogènes (photo 1), sont constitués :

- ◆ d'une couverture argilo-limoneuse ;
- ◆ d'argiles graveleuses ;
- ◆ d'argiles plastiques ;
- ◆ de tourbes et d'argiles tourbeuses ;
- ◆ de limons argileux et silteux ;
- ◆ de sables argileux ;
- ◆ de sables propres.

A l'hétérogénéité de ces sols, s'ajoute un problème d'hydrogéologie lié à l'alternance, au sein d'un même déblai, de niveaux perméables (argiles sableuses, tourbes, silts) et de niveaux imperméables (argiles plus ou moins plastiques). De plus, des arrivées d'eau, souvent liées aux précipitations, ont été constatées au niveau des matériaux per-

méables. Si certaines de ces arrivées d'eau n'étaient que de simples suintements, d'autres étaient néanmoins particulièrement importantes, voire artésiennes (photo 2).

Des conditions climatiques défavorables

Les conditions météorologiques de la Bresse sont particulièrement défavorables au terrassement, ceci pour plusieurs raisons :

- ◆ la pluviométrie moyenne annuelle est supérieure à 1,10 m/an et bien répartie sur les quatre saisons. Or la plasticité des sols nécessite des périodes de forte évaporation pour obtenir une réutilisation optimale des matériaux et pour minimiser les problèmes de traficabilité ;
- ◆ le microclimat hivernal de la Bresse avec sa couverture nuageuse quasi permanente est peu propice à l'évaporation.

LES ÉTUDES

Stratégie des terrassements

La Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône (SA-PRR) s'est engagée dans une politique de réutilisation maximale des matériaux du site. Deux principes importants ont donc été appliqués : un traitement massif des matériaux locaux et leur mise en œuvre dans des conditions climatiques favorables. Cette stratégie a permis de limiter au maximum le recours à des matériaux extérieurs. Ceci aurait effectivement été problématique compte tenu des conditions d'accès au chantier.

Mais, il a toutefois été nécessaire d'avoir recours à des matériaux de carrières pour des usages "nobles" : granulats des chaussées, blocs techniques d'ouvrages d'art, masques de certains talus de déblai instables, matériaux de substitution et une partie des couches de forme.

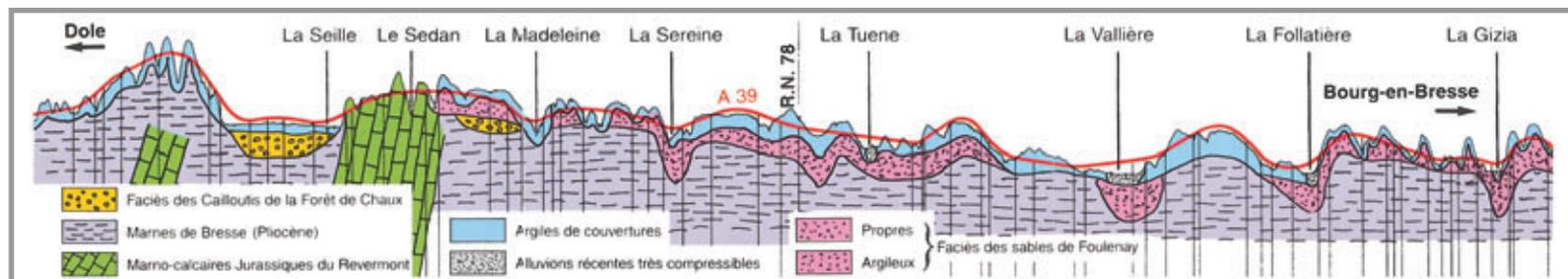
Afin d'éviter de désorganiser le marché local des

Photo 1
Déblai D 34.
De bas en haut :
argiles plastiques,
tourbes et sables

Cutting D 34.
From the bottom up :
plastic materials, peat
and sand



Figure 1
Profil en long géologique
de la section Sellières - Le Miroir
Longitudinal geological profile
of the Sellières - Le Miroir section



dans la plaine de Bresse

matériaux, de minimiser les coûts de transport dus à l'éloignement des carrières existantes et de limiter l'impact de ce trafic sur la voirie locale, SA-PRR a décidé l'ouverture de trois carrières. Chacune a été associée à un lot de terrassement : deux en roche massive (à Roissiat dans l'Ain et à Mantry dans le Jura), et une de grave alluvionnaire (à Desnes dans le Jura). Cependant, pour certains sites particuliers ou certaines phases des terrassements, il a fallu faire appel au marché extérieur pour la fourniture d'une quantité restreinte de matériaux. Les terrassements se sont déroulés sur quatre années : 1993, chantier expérimental, 1994, travaux préparatoires comprenant des terrassements importants, 1995 et 1996, terrassements en grande masse.

Chantier expérimental

Un chantier expérimental s'est révélé nécessaire pour prendre une réelle mesure des problèmes de terrassement. Ces travaux ont été réalisés en automne 1993, un an avant la mise au point des DCE. Les travaux d'un seul site sur les deux prévus initialement, ont pu être menés à bien. Ce sont 57 000 m³ de déblais qui ont ainsi été réalisés dans des conditions climatiques particulièrement difficiles (810 mm de pluviométrie pendant la période des terrassements entre le 15 septembre et le 15 décembre).

Ce chantier expérimental a toutefois permis de visualiser la structure et de confirmer l'hétérogénéité des formations mise en évidence lors des sondages de reconnaissance. Il a également permis de comprendre le fonctionnement hydraulique des différents niveaux aquifères et de mesurer la difficulté à entretenir, en période hivernale, des pistes de chantier soumises à un trafic important. Enfin, il a été riche d'enseignements quant aux problèmes de stabilité des talus.

Etape essentielle de la phase d'étude du projet, ce chantier expérimental a permis d'intégrer au dossier de consultation des entreprises des éléments opérationnels qui se sont révélés primordiaux pour la maîtrise ultérieure et l'économie du chantier :

- ◆ une pente de talus de 3/1 s'applique de façon systématique pour tous les déblais ;
- ◆ la mise en place de masque *a priori* ne se révélant pas pertinente, compte tenu du caractère imprévisible des instabilités ou des venues d'eau, celles-ci sont traitées au fur et à mesure de leur apparition ;
- ◆ une importance particulière doit être accordée à



Photo 2
Déblai D34. Venues d'eau importantes dans une couche de sable située à la base du déblai

Cutting D 34. Significant water ingress into a sandy layer located at the base of the cutting



Photo 3
Problèmes de traficabilité dans les argiles de Bresse

Problems of trafficability in Bresse clay

la maîtrise des eaux externes, concernant aussi bien la collecte des drains agricoles, dont certains sont très anciens et très profonds, que la collecte des eaux de pluie en crête de déblais ;

◆ il se révèle quasiment impossible de trafiquer sur ces sols fins avant application de la couche de forme, ce qui conduit à limiter un maximum les distances de transport, notamment en multipliant les dépôts de proximité (photo 3) ;

◆ une période de neutralisation hivernale importante de 5 mois, du 1^{er} novembre à fin mars, s'impose.

■ LE CHANTIER DE LA SECTION SELLIERES - LE MIROIR

Les terrassements de l'autoroute A39 ont été divisés en quatre lots attribués aux quatre groupements d'entreprises suivants : GTM, Fougerolle - Ballot, Pertuy - DTP et Razel - BEC. Le terrassement de la section Sellières - Le Miroir, confié au groupement d'entreprises Pertuy - DTP, a été choisi ici pour illustrer les problèmes rencontrés lors du ter-

Tableau I
Tableau récapitulatif
des taux
de réemploi moyens

Summary table
of average re-use
rate

Formations	Taux de réemploi sans traitement	Taux de réemploi aux liants	Dépôt	% de chaux	% de liant routier (LR 39)	Type d'utilisation
N° 1 - Couverture argilo limoneuse A2	10	90	0	1 à 1,5 %		Priorité d'utilisation en remblai spécifique. Zones inondables, remblais rasants, transition, PST.
N° 2 - Argile graveleuse C1 A2	0	20	80	2 %		Remblai de hauteur moyenne.
N° 3 - Argile plastique A3 A4	0	70	30	1,5 à 2 %		Remblai de faible à moyenne hauteur (2 à 6 m)
N° 4 - Tourbes - argile tourbeuse			100			
N° 5 - Limon argileux A1*	0	60	40	1,5 à 2 %		Remblai courant. Remblai de faible hauteur et PST.
N° 5 bis - Limons silteux	0	30	70	1,5 à 2 %		Remblai courant.
N° 6 - Sable argileux B5 B6*	0	40	60	1 à 1,5 %	2 à 3 %	Remblai courant. Traitement CAO PST 2 % LR 39 Arase 3 % LR 39
N° 7 - Sables propres B2*	0	30	70		2 à 3 %	Utilisation en mélange avec la formation n° 6.
N° 9 9 F - Calcaire dur à calcaire argileux	80	0	20			Brut d'abattage : substitution, PST, assise, base drainante. 0/300 : masque.
N° 10 10 F - Marnes altérées	0	0	100			



Photo 4
Epannage de la chaux
Spreading of lime

rassement de l'A39 et les moyens nécessaires mis en œuvre pour y faire face. Sur cette section de 38 km, le déblai total est de 5,6 millions de m³ et le remblai total de 3 millions. Restent 2,6 millions de m³ de qualité très médiocre qui ont été mis en dépôt.

En 1994, deux chantiers de travaux préparatoires ont été engagés. Le premier, confié au groupement d'entreprises Guintoli et Dalla Vera comprenait dix ouvrages permettant de s'affranchir des contraintes de voirie locale. Le second confié à l'entreprise Bec a permis, à la suite du chantier expérimental, de tester en vraie grandeur et en saison favorable les rendements des matériels de terrassement. Deux échelons de *motorscrapeurs*, deux échelons de pelles et de camions, deux ateliers de traitement à la chaux (charrue et pulvimixeur) ont ainsi permis de terrasser 400 000 m³ dans les argiles, et ce, en trois mois.

Dès juin 1995, une imposante organisation constituée de 450 hommes et 250 engins se met en place. Le défi à relever pour le groupement Pertuy - DTP est effectivement de réaliser ce chantier en 17 mois incluant une période de neutralisation hivernale de 5 mois. Très vite, le chantier prend un rythme de croisière de 50 000 m³ par jour et, le 1^{er} septembre 95, le record du chantier, 61 500 m³ terrassés dans une journée, est atteint.

Les moyens mis en œuvre pour ce chantier sont extrêmement importants :

- ◆ quatre échelons de *motorscapers*, dont deux à deux postes ;
- ◆ cinq échelons de pelles (type 375) et de camions, dont trois à deux postes ;
- ◆ quatre échelons de pelles de taille moyenne et de camions articulés ;
- ◆ neuf échelons de traitement, dont sept pulvimixeurs ;
- ◆ deux draglines et jusqu'à quatre-vingt camions semi-remorques pour assurer le transport des matériaux issus de la carrière de Desnes dont l'ex-

ploitation a été confiée au même groupement d'entrepreneurs.

C'est donc une puissance de parc de 55 000 chevaux qui entre en action.

Traitement et réemploi

La plupart des matériaux fins n'était pas réutilisable sans traitement. Néanmoins, tous les matériaux, à l'exception des tourbes et des argiles tourbeuses, ont pu être réutilisés partiellement après traitement. Seule, la couverture argilo-limoneuse classée A2 a été réutilisée en totalité. Elle a été traitée en priorité pour une réutilisation spécifique en zones inondables, en remblais rasants et en zones de transition. Les argiles et limons argileux classés A1 à A4 ont été traités à la chaux pour des réutilisations en remblais courants et de faible hauteur. Les sables argileux classés B5 et B6 ont été traités à la chaux pour les remblais courants et au liant routier pour les PST et couches de forme. Enfin, les sables propres classés B2, mélangés aux faciès plus argileux lors de l'extraction, ont pu être réutilisés tels quels en remblais courants et en PST après un traitement au liant routier.

Ainsi, sur la durée du chantier, environ 2,5 millions de m³ ont été traités par adjonction de 67 000 t de chaux et 19 000 t de liant LR39, hors couche de forme traitée.

Ces traitements ont été principalement réalisés au pulvimixeur. Sept pulvimixeurs ont donc été mobilisés : Raco 550, Raco 250 et Cat SM 350 (photos 4 et 5).

Ces différents traitements appropriés aux matériaux rencontrés et à leur utilisation ont permis de maximiser le taux de réutilisation et de minimiser les distances de transport en s'affranchissant ainsi des contraintes de traficabilité (tableau I).

Qualité des plates-formes et traficabilité

Les arases

Les arases ont posé un problème aigu de traficabilité. Dans la zone de couche de forme granulaire, l'objectif a été d'obtenir une classe d'arase AR1 (30 MPa) pour assurer un minimum de trafic vers les dépôts de proximité et les remblais en phase de construction. Dans les zones de couche de forme traitée, l'objectif a été d'obtenir une classe d'arase AR12 (50 MPa). Dans le premier cas, on s'est efforcé de réaliser la couche de forme alluvionnaire le plus vite possible après l'arase pour permettre le trafic du chantier. Dans le deuxième cas, sur certains secteurs, une arase de type proche de l'AR2 (70 MPa) a été réalisée pour permettre la circulation d'approvisionnement de la couche de forme traitée.

Dans des déblais de mauvaise qualité où la portance pouvait être nulle (entre 0 et 10 MPa), c'est-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Section Sellières - Le Miroir

Maitre d'ouvrage

Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône

Maitre d'œuvre

Scetauroute

Entreprises de terrassement

- Pertuy
- DTP

Sous-traitants

- Muller (terrassement)
- Delmonico Dorel (concassage)

à-dire sur 40 % de la section, ces niveaux d'arasés n'ont pu être obtenus que par substitution, sur une épaisseur de 0,3 à 1,2 m, à l'aide de calcaire concassé 0/200 d'apport extérieur ou des graves D2 B3 provenant de l'emprunt de Desnes et ce suivant la situation géographique du déblai. En remblai et dans les déblais de portance moyenne, soit sur 55 % de la section, l'arase a été réalisée par traitement en place à la chaux ou au liant routier (LR39) sur des épaisseurs comprises entre 0,3 et 0,9 m. Sur 5 % seulement du tracé, on a pu atteindre le niveau de PST requis sans dispositions constructives particulières. Les traitements d'arase ont été réalisés au pulvimixeur.

Profils rasants, zone de transition

Cette section comporte un linéaire de 14 km de remblais rasants, de zones de transition et de profils mixtes déblais/remblais. Dans ces zones, des traitements en place ou des substitutions ont été réalisés de manière à obtenir en tout point de l'arase une épaisseur minimale de 80 cm de matériaux de qualité. La majorité de ces substitutions ont été réalisées grâce aux argiles de couverture traitées à la chaux (215 000 m³). Le reste étant substitué à l'aide des graves de Desnes (90 000 m³) et des calcaires 0/200 d'apport extérieur (120 000 m³).

Les couches de forme

Matériaux de très bonne qualité mis en place juste en dessous des couches de chaussées, les couches de forme ont été réalisées sur 15 km avec un matériau du site, le sable limoneux de Frontenau, traité en centrale suivant la formule définie en étude et ajustée en travaux : 80 % de sable B5 (criblés à 40 mm pour éliminer des nodules d'argile), 20 % de limon prétraité à 1,5 % de chaux et 5,7 % de liant routier LR39. La mise en œuvre de trois centrales de traitement de type SAE-SAM 600 (600 t/heure) a été nécessaire pour atteindre le rythme de production de 11 000 t par jour indispensable à la réalisation, avant l'hiver 96, des 300 000 t de couche de forme traitée. Cette opération a duré moins de trois mois. La couche de forme a été mise en œuvre en deux passes de 20 cm environ grâce à des moyens classiques : bulls, niveleuses et compacteurs, la couche de forme étant recoupée quotidiennement à l'autograde (photo 6). On obtient ainsi une couche de forme PF4 de classe 4. Celle-ci, une fois terminée, a été systématiquement protégée par une monocouche. Les vingt-six kilomètres de couche de forme restants de la section ont été réalisés grâce à de la "grave grise" issue de la carrière de Desnes, qui, sur une épaisseur de 0,7 m permet d'obtenir une plate-forme classée PF2.

Il a été nécessaire de réaliser ces deux types de couches de forme afin de respecter un planning très tendu et d'en minimiser le coût. En effet, la carrière de Desnes étant située au nord de la sec-



Photo 5
Réglage
et malaxage
*Levelling
and mixing*



Photo 6
Découpe
de la couche de forme
traitée à l'autograde
*Cutting of subgrade
using the autograde*

tion de terrassement, il aurait fallu attendre la mise en place de la couche de forme à partir du nord pour approvisionner le sud du chantier. C'est pourquoi, les matériaux d'une butte du sud de la section ont été utilisés pour l'élaboration d'une couche de forme traitée. La répartition entre cette couche de forme traitée, au sud, et la couche de forme alluvionnaire, au nord, s'est faite après une étude économique prenant en compte les distances de transport mais aussi l'impossibilité de réaliser des couches de forme traitées en dehors de la période estivale.

Stabilité des talus

Conformément aux enseignements du chantier expérimental, aucune protection particulière n'a été prévue sur les talus de déblai en sol meuble. Le linéaire de tranchées drainantes réalisé a été fortement inférieur au projet initial car ces tranchées se sont révélées peu efficaces dans les sols hétérogènes et argileux.

Des masques drainants de trois types ont alors permis de faire face aux problèmes rencontrés : un masque de protection contre l'érosion ou l'arrivée d'eau (0,50 m en calcaire 0/150), un masque de substitution d'une instabilité superficielle déclarée (épaisseur 2 m maximum en calcaire 0/150) et un masque de substitution d'une instabilité profonde (un seul cas a été observé, le talus a alors été reconstitué en argile compactée recouvrant un tapis drainant).

La carrière de Desnes

L'emprunt de Desnes, confié au groupement d'entreprises Pertuy - DTP, représente 2 700 000 m³ de

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Section Sellières - Le Miroir

Déblai total	5,6 millions de m ³
Remblai total	3 millions de m ³
Dépôt total	2,6 millions de m ³
Volume traité	2,5 millions de m ³
Chaux	67 000 t
Liant routier LR 39	19 000 t
Coût des terrassements	370 millions de francs



Photo 7

Vue générale de l'emprunt de Desnes. A gauche, l'aire d'élaboration des granulats pour chaussées. En haut, l'autoroute A39

General view of Desnes borrow. On left, preparation of aggregates for pavements. Above, motorway A39

graves alluvionnaires qui se répartissent de la manière suivante :

- ◆ 570 000 m³ de matériaux de découverte réutilisés pour le réaménagement de la carrière ;
- ◆ 870 000 m³ de "graves marrons" lavées, concassées et criblées par le sous-traitant Delmonico-Dorel pour élaborer les granulats de chaussées ;
- ◆ 1 260 000 m³ de "graves grises", dont 770 000 m³ utilisés en couches de forme non traitées et 490 000 m³ en remblais techniques, matériaux de substitution, bases drainantes, drains et pistes de chantier.

L'exploitation de cet emprunt a nécessité deux draglines, dont une travaillait en 3/8 afin d'assurer une production journalière atteignant 4 000 m³/j. Sur la section Sellières - Le Miroir, les apports extérieurs ont ainsi été limités au maximum : 170 000 m³ seulement provenant de carrières extérieures ont été affectés à la réalisation de substitutions et de bases drainantes, et, ceci plus particulièrement dans le sud de la section très éloignée de l'emprunt de Desnes (photo 7).

CONCLUSION

Les chantiers de terrassement de l'A39 resteront exemplaires par l'importance des moyens techniques mis en œuvre par les entrepreneurs. C'est dans des délais et des conditions climatiques difficiles qu'ils ont relevé ce défi contre la géologie locale. Mais cette réussite résulte avant tout d'une bonne coordination entre chacun des intervenants de ce projet et d'une rigoureuse gestion des matériaux.

Un chantier expérimental riche d'enseignements, des terrassements résolument économiques privilégiant la réutilisation des matériaux du site, tels sont les choix stratégiques faits par la Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône et Scetauroute. Cette stratégie s'est révélée payante puisque le coût des terrassements de l'A39, soit 30 % du total, a pu être maintenu par rapport aux prévisions du dossier APS. Le coût final du projet est d'ailleurs resté inférieur de 1 % à cette prévision.

ABSTRACT

Motorway A 39 Earthworks strategy in the Bresse plane

L. Perdriel

Carrying out earthworks in often waterlogged fine soils, with limits on the supply of external materials, in a climate not favourable to evaporation and within very short deadlines, was a real challenge that was met jointly by operator Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône (SAPRR), consultant Scetauroute and the contractors taking part in the works. The proper management of site materials combined with the use of heavy technical facilities enabled these earthworks to be completed satisfactorily. The strategy of SAPRR and Scetauroute consisted, among other things, in setting up an experimental site in order to determine precisely the geological, hydrogeological and climatic constraints. The important problems of trafficability and stability of the slopes encountered during this experimental project called for special arrangements. This strategy, conducted with a constant view to economy and close cooperation between the different players, was the key to the success of this ambitious project.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Autobahn A 39 Strategie für die Erdarbeiten in der Bresse-Ebene

L. Perdriel

Oftmals durchnässte Böden bei gleichzeitiger Beschränkung der Zufuhr externer Materialien, in einem nicht verdunstungsfördernden Klima und in sehr kurzer Zeit waren eine echte Herausforderung, der sich die Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône, Scetauroute und die ausführenden Bauunternehmer gemeinsam gestellt haben. Das gute Management der Baustoffe in Verbindung mit umfangreichen technischen Mitteln hat die gelungene Durchführung dieser Erdarbeiten ermöglicht. Zur Strategie der Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône und Scetauroute gehörte unter anderem eine experimentelle Baustelle, um die geologischen, hydrogeologischen und klimatischen Gegebenheiten real nach-

vollziehen zu können. Aus den bei diesen Tests zu Tage geförderten großen Problemen im Hinblick auf die Verkehrsfähigkeit und die Stabilität der Böschungen konnten die entsprechend zu treffenden Maßnahmen abgeleitet werden. Diese Strategie, in die auch die ständige Bemühung um Wirtschaftlichkeit und enge Zusammenarbeit der Akteure eingeflossen ist, war der Schlüssel zum Erfolg dieses ehrgeizigen Vorhabens.

RESUMEN ESPAÑOL

Autopista A 39 Estrategia desarrollada para los movimientos de tierras en la planicie de Bresse

L. Perdriel

Proceder a movimientos de tierras en suelos de consistencia fina empapados de agua, pero limitando las aportaciones de materiales exteriores, y ello bajo un clima poco propicio para la evaporación y en plazos sumamente reducidos constituía un verdadero reto al cual han hecho frente conjuntamente la Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône (Sociedad de Autopistas de París, Rin y Ródano), Scetauroute y las empresas constructoras que han ejecutado las obras. La correcta gestión de los materiales del emplazamiento, asociada al empleo de importantes medios técnicos han permitido llevar a buen término estas operaciones de movimientos de tierras. La estrategia de la Société des Autoroutes Paris Rhin Rhône y Scetauroute ha consistido, entre otras cosas, en ejecutar obras experimentales para poder valorar realmente los imperativos geológicos, hidrogeológicos y climáticos. Los importantes problemas de tráficoabilidad y de estabilidad de los taludes con que se ha tropezado al proceder a estas obras experimentales, han permitido tomar las disposiciones necesarias para hacer frente a tales dificultades. Esta estrategia, aplicada con un afán permanente de economía, así como una estrecha colaboración entre los diversos participantes en las obras han constituido la clave del éxito de este ambicioso proyecto.

La déviation d'Auch

Terrassements en terrains hétérogènes, évolutifs et surconsolidés

Les travaux de terrassement de la déviation d'Auch sont situés dans des formations tertiaires, complexe de marne tendre, de marne calcaire et de calcaire ne présentant pas de structure individualisée. Comme le mouvement des terres nécessitait une réutilisation totale des déblais, il a donc été nécessaire de concilier le mode d'extraction et la mise en œuvre des matériaux pour permettre l'édification de remblais de hauteur supérieure à 10 m ($H_{MAX} = 22$ m) alors que le GTR limite les conditions de réemploi à 10 m.

Pour ce faire, il a fallu obtenir :

- à l'extraction une granulométrie permettant après mise en œuvre un indice des vides minimal (enrobage des blocs) ;
- une teneur en eau de la matrice (0 - 20 mm) située à droite de l'OPN tout en respectant la limite de "matelassage" qui peut conduire au développement de pression interstitielle pouvant créer des problèmes de stabilité des remblais à court terme.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

La RN124, qui relie Toulouse à Bayonne par les départements du Gers et des Landes, constitue l'axe médian du Sud-Ouest de la France entre les autoroutes du piémont pyrénéen et celle de la vallée de la Garonne.

La déviation d'Auch s'inscrit sur cet itinéraire. Longue de 9,100 km, elle est réalisée en première phase avec une chaussée bidirectionnelle, à 2 voies avec bande d'arrêt d'urgence. Trois échangeurs dénivelés la desservent et deux giratoires la raccordent aux extrémités de l'actuelle RN124.

1 500 000 m³ de déblais ont été extraits dont 80 % de 2^e catégorie suivant la terminologie du Setra ; 400 000 m³ ont été traités à la C_aO. Le mouvement des terres nécessitait le réemploi de la totalité des déblais. Vingt ouvrages d'art ont été construits sur un tracé qui se développe, pour partie, près de zones habitées.

■ PARTICULARITÉS DU PROJET

Géologie

Les formations géologiques intéressées par les déblais font partie des dépôts d'âge tertiaire de la bordure pyrénéenne. Ces molasses d'origine continentale, lacustre et fluviatile sont un complexe :

- ◆ de calcaires palustres plus ou moins tendres et plus ou moins lités ;
- ◆ de marnes avec des grumeaux calcaires plus ou moins importants ;
- ◆ de marno-calcaires.

L'examen de la carte géologique, dans le secteur intéressé, peut laisser supposer une certaine stratification subhorizontale des éléments constitutifs, mais en réalité, il existe de nombreux "termes de passage" entre ces différentes formations.

En conséquence, vis-à-vis du projet :

- ◆ il semble illusoire de vouloir individualiser des horizons continus autorisant des extractions et une réutilisation sélective ;
- ◆ la constitution hétérogène des déblais induit des contrastes mécaniques et hydrogéologiques à l'origine de difficultés de maîtrise de la granulométrie et la possibilité de présence de petites nappes ou de circulation d'eau.

Reconnaitances géotechniques

Objectifs

Compte tenu du contexte géologique il s'est avéré nécessaire de caractériser l'hétérogénéité des déblais vis-à-vis de l'optimisation et de la maîtrise de la réutilisation des matériaux en remblai.

Moyens mis en œuvre

Sondages carottés

Analyse visuelle des échantillons : succession lithologique des terrains traversés et principales discontinuités.

Diagraphies *in situ* :

- ◆ microsismique : établissement de corrélation avec les essais mécaniques (Rc - résistance à la compression simple) ;
 - ◆ γ ray : marqueur d'argilosité.
- Essais de laboratoire - Nature et état :

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

État. Opération cofinancée par la Région Midi-Pyrénées, le Département du Gers et la Ville d'Auch

Maîtrise d'œuvre

DDE du GERS

Etude du projet

- Scetauroute
- Fondasol
- CETE d'Aix

Travaux

- Guintoli
- Générale Routière
- Jean Lefebvre

Contrôle extérieur

LRPC de Toulouse

Montant de l'opération :

220 millions de francs

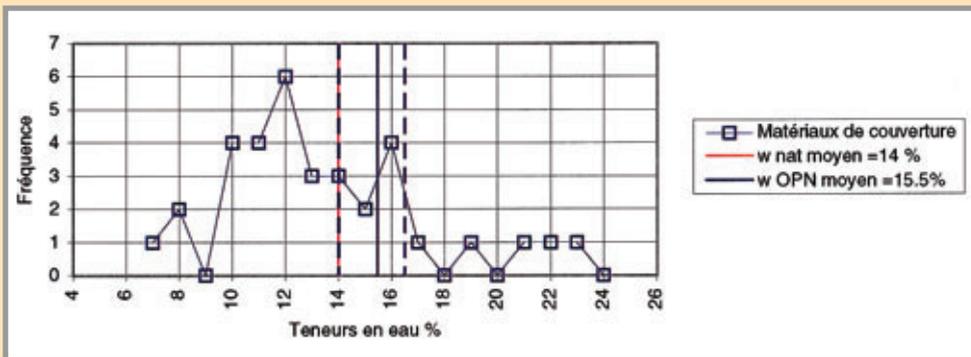


Figure 1
Histogramme des teneurs en eau des matériaux de couverture
Histogram of water content of covering materials

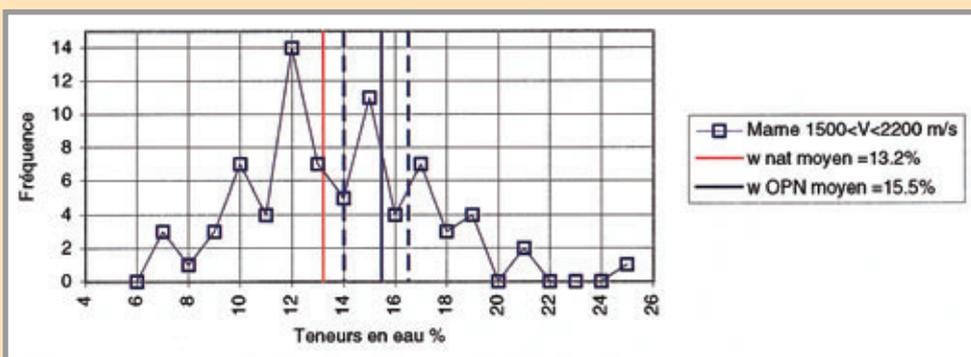


Figure 2
Histogramme des teneurs en eau des marnes 1500 < V < 2200 m/s
Histogram of water content of marls 1500 < V < 2200 m/s

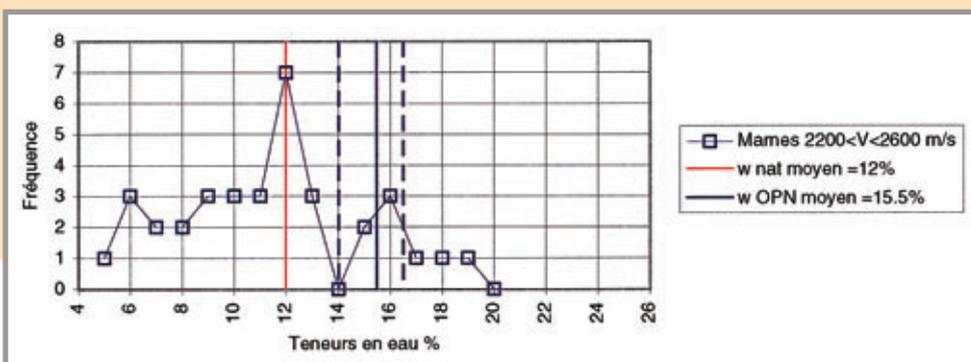


Figure 3
Histogramme des teneurs en eau des marnes 2200 < V < 2600 m/s
Histogram of water content of marls 2200 < V < 2600 m/s

- ◆ identification (WL - WP);
- ◆ teneur en eau;
- ◆ essais Proctor;
- ◆ Rc (résistance à la compression simple);
- ◆ fragmentabilité, dégradabilité, Los Angeles;
- ◆ teneur en CO₃ Ca.

Pour limiter l'erreur sur les teneurs en eau, les carottages ont été effectués à la mousse, mais malgré cette précaution, les échantillons ont tout de même pris de l'eau.

Le croisement des données des différentes diagraphies calées avec les analyses et essais réalisés sur les carottes ont permis de créer un indicateur continu des variations des caractéristiques des formations traversées et notamment de la nature et de la répartition de leurs contrastes.

Sondages destructifs avec diagraphies

Ce type d'investigation, à moindre coût, permet d'extrapoler les résultats des sondages carottés (grâce au calage des diagraphies réalisées sur les sondages carottés).

Résultats

Le croisement des résistances à la compression simple, des teneurs en CO₃ Ca et des expériences de chantier vis-à-vis de la fragmentabilité aux engins nous a conduit à définir quatre classes de matériaux :

- ◆ V < 1500 m/s : matériaux de couverture;
- ◆ 1500 ≤ V < 2200 m/s : marne fragmentable aux engins;
- ◆ 2200 ≤ V < 2600 m/s : marne peu fragmentable aux engins;
- ◆ V ≥ 2600 m/s : marno-calcaire à calcaire très peu à non fragmentable aux engins.

Les figures 1 à 3 montrent que les matériaux de couverture sont à l'état "m", alors que les marnes sont à l'état "s".

Les figures 4 et 5 précisent les quatre classes de matériaux et leur répartition spatiale dans le cas du déblai n° 4. Elles confirment le caractère aléatoire de leur disposition et donc la difficulté de réaliser des extractions sélectives et par voie de conséquence des mises en œuvre, elles aussi, sélectives. Enfin, la figure 6 donne le pourcentage des différents constituants.

CONCEPTION DES REMBLAIS

Objectif

Le corps des remblais doit être conçu de manière à :

- ◆ assurer une mise en œuvre simple et fiable;
- ◆ maîtriser le comportement à long terme (gonflement, effondrement);
- ◆ assurer la stabilité des talus à court et long terme.

Analyse des contraintes

Matériaux

La répartition des différents constituants traversés par les déblais (figure 6) montre que les marnes évolutives représentent la majorité des matériaux et que de ce fait, elles vont conditionner le comportement global des remblais. Il faut donc apporter un soin particulier à leur mise en œuvre.

Sols compressibles

Trois zones ont été identifiées, deux ne posant que des problèmes de tassement W ≈ 40 cm, la troisième par contre nécessitant un contrôle de la vitesse de montée de l'ouvrage. Le LRPC de Toulouse a assuré cette mission.

Solutions proposées

Le GTR précise que les roches argileuses et marnes rocheuses évolutives comportent un risque pour leur mise en remblai. Les conditions d'utilisation doivent donc être accompagnées d'une réflexion approfondie sur les méthodes d'extraction les plus appropriées, en particulier en vue de la fragmentation et sur la conception globale des remblais, en sachant que même dans ce cas, la hauteur des remblais ne peut excéder 10 m, alors que les ouvrages dépassent largement cette hauteur > 17 m. Pour cette raison, la base des remblais est traitée à la chaux de manière à respecter le critère de 10 m de hauteur maximale pour les remblais classiques. Cette technique permet d'insensibiliser les sols dans les zones soumises aux fortes contraintes où la saturation se produira plus rapidement et, où les risques d'effondrement sont les plus importants. Pour ce faire, les matériaux de couverture qui ont des teneurs en eau proches de l'OPN seront utilisés, ce qui présente les avantages suivants :

- ◆ mouvement de terre simplifié ;
- ◆ éviter les apports d'eau extérieur.

La pente des talus retenue est de 1 vertical pour 2 horizontal.

EXTRACTION ET RÉEMPLOI DES SOLS

Objectifs

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, les matériaux à réutiliser sont essentiellement constitués par des marnes dégradables, plus ou moins fragmentables, contenant en proportion variable des calcaires.

Il est donc indispensable de mettre au point :

- ◆ un procédé d'extraction permettant de fragmenter au mieux ces marnes rocheuses ;
- ◆ une méthode de mise en œuvre en remblai complétant la fragmentation et autorisant le respect des teneurs en eau.

Méthode d'extraction

Matériaux de couverture V < 1500 m/s

Ces sols ont été extraits à l'engin à lame. Ils sont utilisés :

- ◆ soit pour constituer la base des remblais en les traitant à la chaux ;
- ◆ soit pour réaliser la couche de forme en les traitant à la chaux et au ciment.

Matériaux en place V > 1500 m/s

Le mode d'extraction doit permettre, après mise en œuvre, d'obtenir un C₁A ou C₁B en terme du GTR, c'est-à-dire que le passant de la fraction 0/50 mm doit être supérieur à 60 %. De plus pour

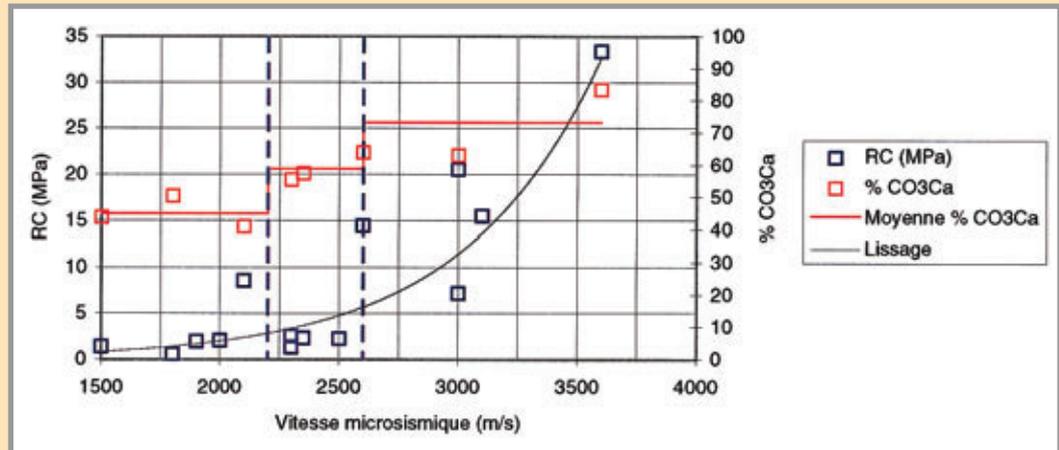


Figure 4
Corrélation entre la vitesse microsismique, la teneur en CO₃Ca et la résistance à la compression simple

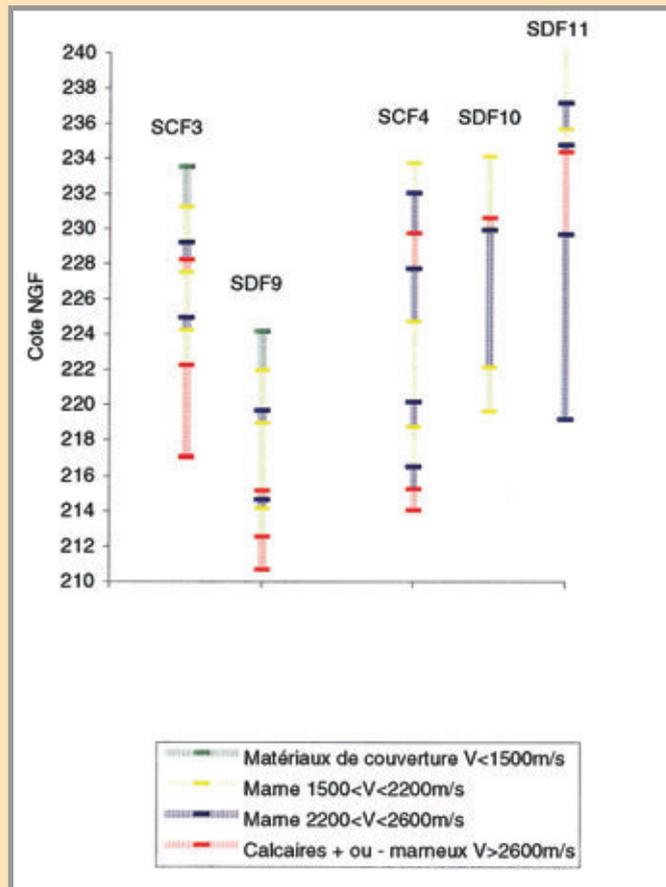


Figure 5
Représentation spéciale des différentes couches
Special representation of different layers

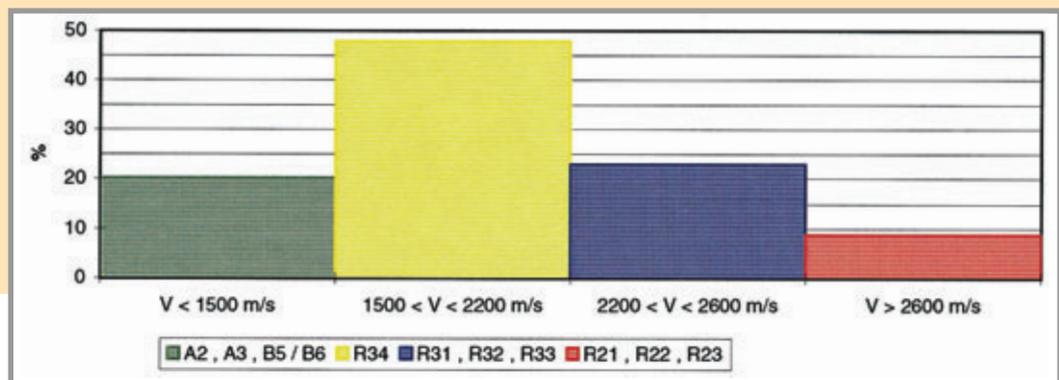


Figure 6
Répartition des différents constituants
Distribution of different constituents



Photo 1
Matériaux en place.
Hauteur de talus 3 m
Materials in place.
Slope height of 3 m

compléter ces données, nous avons imposé les valeurs suivantes :

- ◆ un $D_{MAX} \leq 300$ mm permettant une mise en œuvre par couche d'épaisseur $\leq 0,40$ m après compactage ;
- ◆ un passant sur la fraction 0/20 mm > 25 %, toutes ces prescriptions ayant pour but d'obtenir un indice des vides minimal limitant les risques d'évolution sous imbibition.

Au niveau du projet, il était prévu de miner suivant la technique des "tirs en cratère". Elle consistait à concentrer la charge en fond de forage et à réaliser les tirs sans dégagement latéral de manière à utiliser l'onde de choc dans les calcaires raides et la dissipation de la pression des gaz dans les matériaux plus mous. Cette technique impliquait la foration de trous de minage $\varnothing > 102$ mm, de profondeur ≤ 3 m avec une charge spécifique de l'ordre de 400 à 450 g/m³ de nitrate fuel. Le maillage était estimé à 2,70 m. Sur le chantier, l'entreprise a préféré une solution de ripage, assortie d'une fragmentation des blocs au BRH.

Mise en œuvre en remblai

Critères

Les matériaux après compactage devaient vérifier strictement les conditions suivantes :

- ◆ $D_{MAX} < 300$ mm ;
- ◆ passant à 50 mm > 60 % ;
- ◆ $25 \leq$ passant à 0 - 20 mm ≤ 33 % ;
- ◆ (WOPN - 1) sur fraction 0/20 mm $\leq W_c$ (0 - 20 mm) \leq (WOPN + 1) sur fraction 0/20 mm.

Le seuil de refus était défini comme suit :

- (WOPN - 2) sur fraction 0/20 mm $\leq W_c$ (0 - 20 mm) \leq (WOPN + 2) sur fraction 0/20 mm.

La première condition, terme de gauche, implique une teneur en eau minimale pour éviter les risques d'effondrement à la saturation. La seconde, quant à elle, limite la teneur en eau pour ne pas avoir de risque de génération de pression interstitielle pendant la montée des remblais. Ces considérations résultent du modèle de comportement des sols non saturés. L'énergie de compactage était fixée à un compactage intense, six passes de Vs pour une épaisseur finale de couche de 0,40 m.

Application au chantier

Les deux planches d'essai réalisées sur le chantier ont permis de mettre au point les techniques suivantes :

Humidification

Les quantités d'eau à rapporter $\Delta W \approx 4$ à 6 points, ont nécessité une méthodologie particulière :

- ◆ ripage des matériaux ;
- ◆ humidification à l'emprunt avec une homogénéisation pendant 24 heures ;
- ◆ extraction des matériaux avec éventuellement un réajustement des teneurs en eau au remblai.

Fragmentation

Le ripage des matériaux, le chenillage et le compactage au compacteur V5 ont permis d'obtenir les paramètres granulométriques voulus. Les planches expérimentales (essais à la bêche) ainsi que l'ouverture de fouille ont permis de vérifier que :

- ◆ la densité de la matrice (0 - 20 mm) était correcte ;
- ◆ l'enrobage des blocs était bien assuré.

LE CHANTIER - POINT DE VUE DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE

L'excellence des études géotechniques en ce qui concerne la détermination des sols existants a permis aux entreprises de cerner les difficultés d'exploitation des marno-calcaires et des calcaires hétérogènes du Gers, dont le Los Angeles n'est que de 28, grâce à la puissance du matériel engagé (photo 1).

Les cadences de mise en œuvre ont été en moyenne de 25 000 m³/jour, les entreprises travaillant en poste de 6 heures du matin à 22 heures le soir. L'enrobage des blocs, qui respectent la granulométrie requise ($\varnothing 300$ mm), s'est fait sans difficulté et les tranchées de vérification réalisées ont démontré que toutes les recommandations concernant l'exécution de la matrice étaient correctes (photo 2).

La difficulté s'est surtout posée à la mise en œuvre de ces matériaux marneux évolutifs à gauche de l'OPN de 4 à 6 points. Les planches d'essais ont montré que l'humidification adéquate devait se faire sur les lieux d'extraction souvent la veille pour le lendemain, avec une correction sur les lieux de mise en œuvre, l'option du départ d'humidifier le matériau sur les seuls lieux de mise en œuvre s'étant révélée impraticable en raison du volume d'eau à mettre en œuvre : 60 000 m³ d'eau ont été utilisés pour ces travaux.

Les sols compressibles et une zone inondable mal reconnue initialement n'ont pas créé de difficulté technique majeure. Plus imprévisible a été la présence des poches de sable alimentant des venues d'eau dans les grands déblais pouvant perturber l'arase de terrassement traitée (PST). Il a été nécessaire d'effectuer leur captage en profondeur au bas des talus.

Un tir de mine bloqué, lors de la construction d'un ouvrage d'art, a conduit à un contentieux avec les riverains. Il s'est répercuté du fait de l'urbanisation par :

- ◆ le choix de l'entreprise pour une solution ripage brise-roche, qui éliminait tous les risques de dommage ;
- ◆ le suivi minutieux, contrôlé par un expert extérieur, des vibrations induites par le matériel lourd (V5, BRH, scrapers et dumpers). A cet effet, de nombreux capteurs ont été mis en place.

L'option prise par l'entreprise s'est traduite par une chute de rendement et nous pouvons penser que l'utilisation du minage aurait apporté une amélioration en respectant strictement le PAQ qui avait été établi à la suite d'études précises et détaillées. La sensibilité des matériaux du site à l'humidification a conduit à prévoir de manière unanime un traitement à la chaux sur 0,40 m d'épaisseur, ce qui conduit à une arase AR2 et l'obtention d'une PF3.

L'emploi de géotextiles et de géocomposites a été renforcé au détriment du classique matériau drainant. Plus facile de pose, ayant des caractéristiques hydrauliques et de résistance similaires, voire supérieures, ils correspondent mieux aux chantiers de notre temps.

La compétence et la grande pratique des terrassements des entreprises ont permis de sortir un ouvrage globalement satisfaisant.



Photo 2
Aspect des matériaux compactés
après évolution
**Appearance of compacted materials
after settlement**

ABSTRACT

The Auch diversion Earthworks in heterogeneous and evolving overconsolidated soil

R. Dulcire, M. Virollet

The earthworks for the Auch diversion fall within continental formations of the Tertiary exhibiting a complex make-up with soft marl, limestone marl and limestone without any individualised structure. As the earthmoving required total re-use of cuttings, it was necessary to reconcile the extraction method and the placement of materials to allow the construction of embankments higher than 10 m (maximum height of 22 m) while the embankments technical guide limited their use to a height of 10 m. To accomplish this, the following was required :

- during extraction, a gradation (particle-size distribution) yielding a minimum voids index during placement (coating of large particles) ;
- a water content in the matrix (0 - 20 mm) located to the right of the standard Proctor test, while complying with the "padding" limit that can lead to the development of pore pressure capable of creating short-term embankment stability problems.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Die Umgehung von Auch Erdarbeiten in heterogenen, veränderlichen Böden mit überhöhter Verdichtung

R. Dulcire, M. Virollet

Die Erdarbeiten für die Umgehung von Auch finden in Kontinentalformationen des Tertiär statt, ein Komplex aus weichem Mergel, Kalkmergel und Kalk ohne individualisierte Struktur. Da die Erdbewegungen eine komplette Wiederverwendung des Aushubs erforderten, mußten Fördermethoden und Einbau der Baustoffe so miteinander in Einklang gebracht werden, daß Aufschüttungen von mehr als 10 m (max. Höhe = 22 m) möglich waren, obwohl durch die GTR (Technischer Führer für die Ausführung der Aufschüttungen und der besonders eingebauten oberen Schichten) -Bedingungen für eine Wiederverwendung die Höhe auf 10 m begrenzt ist.

Um diese Aufgabenstellung bewältigen zu können, mußten :

- bei der Förderung eine Korngröße erreicht werden, aus der sich anschließend an den Einbau ein minimaler Hohlraumanteil ergibt (Umhüllung mit bituminösem Bindemittel) ;
- ein Wassergehalt der Matrix (0 - 20 mm) rechts vom OPN (übliche proctoprüfung) erzielt werden, wobei auch die "Polster"-Grenze einzuhalten war, die zum Druckaufbau in den Zwischenräumen führen kann, was wiederum kurzfristig Stabilitätsprobleme in den Aufschüttungen auslöst.

RESUMEN ESPAÑOL

La variante de Auch (Francia) Movimientos de tierras ejecutados en terrenos heterogéneos, evolutivos y superconsolidados

R. Dulcire y M. Virollet

Las obras de movimientos de tierras de la variante de Auch, se sitúan en formaciones continentales de la era terciaria, constituidos por margas blandas, margas calizas y calizas que no presentan una estructura separada. Dado que los movimientos de tierras precisan una reutilización total de los materiales extraídos de la excavación en los desmontes, ha sido preciso aunar el modo de extracción y la puesta en obra de los materiales para permitir levantar terraplenes de alturas superiores a 10 m (con alturas máximas de 22 m) mientras que el GTR (guía técnico de realización de los terraplenes) limita las condiciones de reemplazo a 10 m.

- Para ello, ha sido preciso obtener :
- en la extracción, una granulometría capaz de permitir, tras puesta en obra, un índice de cavidades mínimo (revestimiento de los bloques) ;
 - un contenido de agua de la matriz (0 - 20 mm) situado a la derecha del OPN (optimum Proctor normal), pero respetando siempre el "amalgamado" que puede conducir al desarrollo de presiones intersticiales capaces de crear problemas de estabilidad de los terraplenes a corto plazo.

Valoriser les mâchefers bitumineuse Colétanche

Le traitement des ordures ménagères par incinération, est devenu une pratique courante dans notre pays.

Que faire des résidus non consommables et sans valeur énergétique, les mâchefers ?

Aujourd'hui il est possible de les traiter et de les valoriser dans le domaine routier.

La Communauté Urbaine du Mans s'est dotée d'un équipement de stockage et de traitement des mâchefers d'incinération des ordures ménagères (MIOM).

LES MÂCHEFERS PROVENANT DES ORDURES MÉNAGÈRES EN FRANCE

Généralités

Les ordures ménagères représentent en France annuellement 22 millions de tonnes dont la composition est la suivante :

- ◆ 13 % de verre ;
- ◆ 4 % de métaux ;
- ◆ 27 % papiers cartons ;
- ◆ 24 % produits organiques ;
- ◆ 11 % plastique ;
- ◆ 16 % de non incinérables.

Les 16 % de non incinérables sont en majorité des mâchefers.

40 % des ordures ménagères sont mises en décharge, 54 % sont incinérées et 6 % utilisées en compost.

Production des mâchefers

Les mâchefers sont des sous-produits de l'incinération d'ordures ménagères récupérés en fin de combustion.

Ils se présentent comme des scories noirâtres pouvant comporter des éléments grossiers :

- ◆ nécessitant un criblage et déferrailage primaire ;
- ◆ voire un déferrailage secondaire.

Le mâchefer sorti de ces unités devra être débarassé des gaz et des lixiviats polluants. Il sera alors stocké sur une aire étanche pendant plusieurs mois, les lavages par les eaux de pluie et la carbonatation par le CO₂ de l'air permettant d'arriver à obtenir un mâchefer valorisable en génie civil.

Les mâchefers sont constitués de silicate d'alumine, de calcium et de sels (chlorures et sulfates). Ils renferment une très faible proportion de métaux lourds.

Les textes réglementaires

La circulaire du 9 mai 1994 du ministère de l'Environnement impose un contrôle des caractéristiques des mâchefers à l'aide du test de lixiviation NF X 31.210 et d'une mesure d'imbrûlés.

L'application du test et la prise en compte des imbrûlés conduit à classer les mâchefers dans l'une des trois catégories suivantes :

- ◆ catégorie V valorisable immédiatement ;
- ◆ catégorie M pour maturation. Celle-ci est à améliorer par un stockage et une maturation de plusieurs mois ; elle devient alors valorisable ;
- ◆ catégorie S à forte fraction lixiviable ; à éliminer dans un stockage.

Maturation des mâchefers

Les lixiviats des mâchefers sont très basiques (PH de 11 à 12) avec des teneurs en sulfate très élevées (4 à 5 g).

Les métaux de ces sulfates sont principalement le plomb, le cadmium, le mercure, le chrome et l'arsenic.

Après un stockage à l'air de 6 à 12 mois, on observe une maturation par oxydation naturelle liée à la carbonatation de la chaux libre qui permet de réduire le potentiel polluant des mâchefers. Durant cette période de stockage, le MIOM subit un égouttage important.

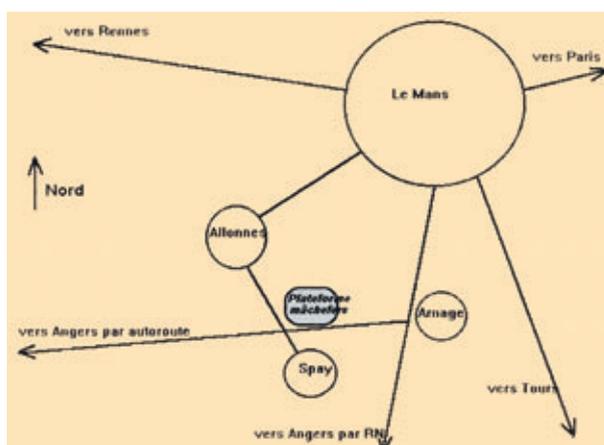
LE TRAITEMENT DES MÂCHEFERS PRODUITS À L'USINE D'INCINÉRATION D'ORDURES MÉNAGÈRES DU MANS

Objectifs de la Communauté Urbaine du Mans (CUM)

L'usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) de la CUM traite 140 000 t de déchets, lesquels incinérés, représentent 45 000 t/an de mâchefers. Mettre ce produit en décharge de classe 2 coûterait 12 millions de francs/an environ, soit 650 francs par tonne.

Dans l'esprit de la circulaire du 9 mai 1994, une

Figure 1
Plan de situation de l'usine de traitement
Simulation of treatment plant



par la géomembrane

Michel Laude



**DIRECTEUR
COMMERCIAL -
COMMUNICATION
Sacer Atlantique**

campagne de caractérisation a ainsi été lancée dès octobre 1994.

A l'issue de cette campagne la Drire a confirmé en mai 1996 que les mâchefers issus de l'UIOM du Mans respectaient les conditions de valorisation prévues et pouvaient être utilisés en technique routière.

En novembre 1995, le laboratoire LTR de Coulaines près du Mans a réalisé trois planches d'essai avec traitement à l'émulsion de bitume.

Le comportement mécanique du produit étudié avec le CETE de Nantes et le laboratoire de l'équipement d'Angers peut être considéré comme satisfaisant. Cette expérience a mis en évidence la nécessité d'épurer les mâchefers de leurs imbrûlés et des éléments métalliques encore présents ainsi que la récupération des métaux non ferreux.

Cette dernière opération nécessite un traitement complet, stockage pour égouttage, criblage, déferrailage fin et séparation des non ferreux.

A la suite de ces différentes études, la CUM a décidé le 25 juin 1996 de réaliser une plate-forme de traitement des mâchefers, située à Spay à 8 km du Mans, en vue d'un emploi possible dans la route.

Le projet de l'installation de traitement de la CUM

Le projet permet d'obtenir le mûrissement des mâchefers valorisables et leur stockage en attente de commercialisation pour la route.

L'installation prévue comprend :

- ◆ une aire de réception des mâchefers bruts avec une surface de 1 400 m² bordée de talus végétalisés ;

- ◆ un criblage, broyage ;

- ◆ un déferrailage secondaire ;

- ◆ un dispositif d'extraction des métaux non ferreux ;

- ◆ une plate-forme de stockage étanche, d'une surface de 7 500 m² séparée par des merlons en herbe formant six casiers correspondant chacun à un mois de production ;

- ◆ des fossés de collecte des lixiviats ;

- ◆ un bassin tampon pour les eaux pluviales permettant leur décantation et naturellement des bureaux, voies d'accès, pelouses, clôtures.

Le projet évalué à 12 millions de francs tient compte de l'environnement pour une bonne insertion dans le paysage avec une absence d'odeurs.

Pour une tonne d'ordures ménagères, le traitement prévu dans cette usine conduira à 29 kg de métaux



**Aspect des mâchefers
d'incinération
des ordures ménagères**

*Household refuse
incineration clinker*

Photo 2

ferreux, 1,2 kg de métaux non ferreux, 23 kg de refus de criblage et 246 kg de mâchefers.

L'ensemble des installations a une surface de 29 000 m² et se trouve dans la vallée de la Sarthe, le sol support est constitué comme pour de nombreux affluents de la Loire, de terrains du crétacé inférieur donc perméables et sensibles à la pollution. Un bon réseau routier dessert ces unités (figure 1).

LA CONSTITUTION DE LA PLATE-FORME DE MATURATION

Dimensions

La plate-forme de stockage et maturation des mâchefers d'incinération UIOM des ordures ménagères a une surface de 8 000 m² permettant de recevoir une année de production, soit 40 000 t. Elle est étanchée par 8 500 m² de géomembrane bitumineuse Colétanche NTP3, plus 750 m² pour les fossés trapézoïdaux et le bassin tampon.

Structure de la plate-forme

(figure 2)

Cette structure est la suivante :

- ◆ couche de forme de 30 cm d'épaisseur constituée pour moitié de mâchefers et pour moitié de 0/60 recyclés provenant d'un concasseur de matériaux de démolition ;

- ◆ couche de fondation en grave non traitée 0/31,5 de 20 cm d'épaisseur ;

- ◆ couche de sable 0/6 de 5 cm ;

- ◆ géomembrane bitumineuse d'étanchéité NTP3 ;
- ◆ une couche de base en grave bitume de 12 cm d'épaisseur (3 700 t). La granulométrie est une 0/12, la teneur en bitume étant de 4,2 % ;

- ◆ un béton bitumineux de 5 cm d'épaisseur (950 t),

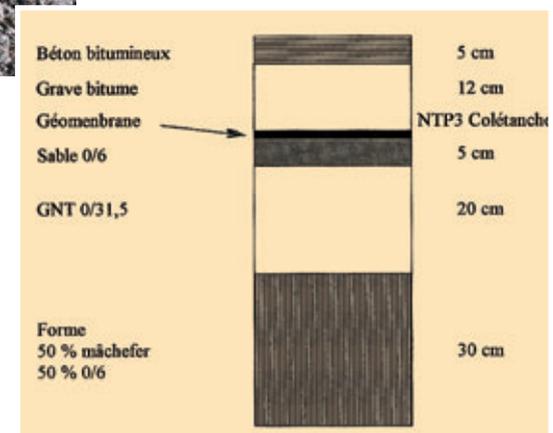


Figure 2
**Coupe de la plate-forme
de maturation**

*Section
of curing platform*

Le bassin de décantation des lixiviats avec, en arrière plan, la plate-forme de stockage des mâchefers

Lixivium settlement tank with the clinker storage platform in the background

Photo 3



Déroulement de la géomembrane étanche type Colétanche NTP3
Unreeling of Colétanche NTP3-type waterproofing geomembrane

Photo 4



Contrôle des soudures par auscultation aux ultrasons
Ultrasonic testing of welds

Photo 5

FORMULE DU BÉTON BITUMINEUX

- 6/10 granulats de la carrière de Voutré : 42 %
- 2/6 granulats de la carrière de Voutré : 20 %
- 0/20 granulats de la carrière de Voutré : 35 %
- Fines : 3 %
- Bitume 50/70 : 6,2 %



(formule en encadré) conduisant à moins de 5 % de vide.

Le liant des enrobés est relativement mou (bitume 50/70 au lieu de 35/50) pour être plus étanche et plus souple.

En effet, la plate-forme a été exécutée sur une ancienne décharge avec par conséquent des risques de tassements différentiels.

L'association géomembrane bitumineuse et enrobés s'est révélée excellente. Des carottages effectués, ont montré une adhérence totale et l'absence de fissures à l'interface de ces deux couches.

Assainissement

Les eaux de ruissellement sont recueillies par des fossés latéraux eux-mêmes étanchés par la géomembrane et acheminées vers un bassin tampon d'un volume total de 750 m³, imperméabilisé par 750 m² de géomembrane NTP2.

Un réseau biogaz avec des événements a été créé pour récupérer les gaz provenant des matériaux remplissant l'ancienne décharge et des mâchefers de la couche de forme.

Espaces verts

Une attention particulière a été apportée à l'insertion de la plate-forme dans le site naturel. Des merlons en mâchefer de 2,50 m de haut ont été mis en œuvre (volume 3000 m³). Ils ont été végétalisés pour les rendre plus naturels dans le paysage.

MISE EN ŒUVRE DU COLÉTANCHE

Caractéristiques demandées

La géomembrane de l'aire de mûrissement devait répondre aux caractéristiques suivantes :

- ◆ supporter l'application de l'enrobé à plus de 150 °C ;
- ◆ épaisseur > 4 mm ;
- ◆ poids surface unique > 4,8 kg/m² ;
- ◆ résistance à un poinçonnement.

Le Colétanche NTP3 qui ne plissait pas à la mise en œuvre de la grave bitume convenait parfaitement pour le respect de ces caractéristiques.

En revanche, le Colétanche NTP2 plus souple était suffisant, il a été retenu pour l'étanchéité des fossés trapézoïdaux et du bassin tampon.

Les travaux

La plate-forme a été étanchée en 3 jours et demi, soit un excellent rendement de 2300 m²/jour.

Le même travail pour le bassin a demandé une journée.

Le matériel utilisé comprenait :

- ◆ une pelle 1088 à chenilles équipée d'une poutre dévideuse commandée hydrauliquement ;
 - ◆ une machine Mécato avec son chauffeur et deux manœuvres pour le soudage des laies adjacents.
- L'équipe de déroulement, comprenant trois agents, utilisait des pinces manuelles adaptées.

La quasi totalité des soudures réalisées à la machine était d'excellente qualité (moins de 1/1000 de défaut).

Certaines soudures dans des zones difficiles d'accès ont été efficacement soudées à la main.

Contrôle des soudures

Le contrôle a été exécuté en 4 jours à l'aide de l'écographe Sofranel. L'ensemble du chantier a été réceptionné sans aucune réserve.

CONCLUSION

La réalisation du centre de maturation et de stockage des mâchefers a exigé la mise en œuvre d'une structure étanche et durable dont la stabilité doit être éprouvée en raison des risques de déformations et de tassements.

En effet, cette aire de maturation située sur d'anciennes décharges, comblées de matériaux peu porteurs doit résister aux efforts provoqués par les véhicules transportant les mâchefers et ce, en gardant la pérennité de leur étanchéité.

L'association Colétanche enrobés s'est révélée excellente par sa souplesse, son aptitude à supporter les charges dues à la circulation de camions et

les déformations minimales. Quant à la protection de la nappe phréatique, elle est assurée par le Colétanche.

Par ailleurs, les eaux rejetées dans le réseau sont essentiellement des eaux de ressuyage en pied de stock et des eaux de pluie collectées sur la voirie. Ces eaux sont collectées dans un module de décanteur-déshuileur dans lequel sont retenues les matières en suspension, les hydrocarbures et partie des métaux éventuels.

Dans ces conditions, l'installation de Spay de la CUM est un bon exemple pour les nombreuses réalisations qui vont être légalement nécessaires avant l'année 2002.



Vue générale de la plate-forme de stockage des mâchefers terminée, avec plantations sur les merlons pour préserver l'esthétique du site

General view of completed clinker storage platform, with plantings on the merlons to preserve the aesthetics of the site

Photo 1

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Communauté Urbaine du Mans (CUM) - Service Environnement - Service Propreté

Maitre d'ouvrage délégué

Société d'Équipement du Mans (conduite d'opération)

Maitre d'œuvre

- La Technologie Routière LTR pour la plate-forme
- Paysage Concept pour les espaces verts
- CUM Assainissement pour l'assainissement

Entreprises

- Sacer Atlantique, agence de Spay, plate-forme
- Art'Dan (Nantes), espaces verts
- E.J.L. Le Mans, assainissement
- Coordonnateur SPS
- S3C Le Mans

ABSTRACT

Gainful use of clinker by the Colétanche bituminous geomembrane

M. Laude

The treatment of household refuse by incineration has become common practice in France.

What should be done with non-consumable residue having no energy value, such as clinker?

It is possible today to treat clinker and to use it gainfully in the road-building area.

The Urban Community of Le Mans set up a facility for the storage and treatment of household refuse incineration clinker.

DEUTSCHES KURZREFERAT

Verwertung der Müllverbrennungsschlacken in der Geomembran Colétanche

M. Laude

Die thermische Verwertung von Hausmüll ist eine in unserem Land gängige Praxis. Was soll mit dem nicht brennbaren und energetisch wertlosen Restmüll, der Schlacke, geschehen?

Sie kann heute im Straßenbau verarbeitet und verwertet werden...

Der Stadtverband Le Mans hat eine Lager- und Verarbeitungs-ausrüstung für Schlacke aus Hausmüllverbrennungsanlagen gebaut.

RESUMEN ESPAÑOL

Valorización de las escorias mediante la geomembrana bituminosa Colétanche

M. Laude

El tratamiento de las basuras domésticas por incineración es actualmente una práctica corriente en nuestro país.

¿Qué cabe hacer con residuos no consumibles y sin valor energético?

En la actualidad, existe la posibilidad de proceder a su tratamiento y valorizarlos en el sector viario.

La Comunidad Urbana de Le Mans (Francia) ha adquirido un equipo de almacenamiento y tratamiento de las escorias procedentes de la incineración de las basuras domésticas.