

Revue générale des routes et de l'aménagement

N° 914-915
SEPTEMBRE -
OCTOBRE 2013



Dossier IFSTAR : les 35 ans du manège de fatigue français |
Prix mondial d'ingénierie La France à l'honneur |
Interview La création du CEREMA |





2 Editorial

Une page se tourne
Jean-Louis Marchand
Président
RGRA

Actualité générale

Françoise Marmier

4 Hommage

6 Les hommes

7 A suivre

12 3 questions à ...

14 Evénements

19 Faits et chiffres

23 International

25 Rendez-vous

27 Dossier

IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

IFSTTAR: France's fatigue test track after 35 years

28 Un grand équipement de l'Ifsttar : le manège de fatigue

32 De l'essai AASHO au manège de fatigue
J. Berthier (†)

38 Implantation et résumé de l'utilisation du manège
J.-P. Kerzrého

44 Résumé des structures de chaussées testées

49 Le manège de fatigue : les expérimentations avec Eiffage
B. Héritier, J.-C. Vaniscote, F. Olard

56 Matériaux alternatifs, chaussées innovantes
M. Mazé

59 Les produits COLAS sur le manège de fatigue
F. Chaignon, B. Mahé de La Villeglé

65 La genèse de la méthode française de dimensionnement des chaussées
R. Kobisch

72 Expérimentations sur la fatigue des matériaux bitumineux
H. Odéon

78 Expérimentation en vraie grandeur sur l'ornièrage des chaussées à faible trafic
A. El Abd, P. Hornych

87 Utilisation du manège dans la construction d'un modèle de fatigue des chaussées sous chargement multi-essieux
D. Breyse, F. Homsy, S. Yotte, J.-M. Balay, D. Bodin

93 Le manège de Nantes et le projet FORCE de l'OCDE en 1989
Prof. A.-G. Dumont

97 Il était une fois la durabilité des produits bitumineux innovants testés sur le manège de fatigue
Y. Brosseau

103 Essai Alstom Evaluation sous trafic lourd des systèmes d'alimentation des tramways par le sol
Th. Fort

108 Instrumentation en partie haute des chaussées
D. Grellet, G. Doré

112 Bilan de l'utilisation du manège et perspectives
P. Hornych, J.-M. Piau, J.-P. Kerzrého

119 Les fibres optiques continues : vers une mesure interne des dommages ?
J. Blanc, X. Chapeleau, J.-L. Gautier, J. Carroget, P. Hornych



Réfection de l'A14
Crédit photo : Photothèque Eurovia/
Axel Heise
www.eurovia.com

INDEX DES ANNONCEURS

COLAS 86
DELTABLOC FRANCE 3^E DE COUV.
ENI 137
ERGIS EUROFILMS 2^E DE COUV.
EUROVIA 1^{RE} DE COUV.
NYNAS 64
OFROU 6
SHELL BITUMES 4^E DE COUV.
VECTRA 85

125 Essai des dalles Bombardier Système de recharge de véhicules électriques par induction intégré dans la route
M.-L. Nguyen, S. Perez, P. Hornych, J.-P. Kerzrého

132 Un manège pour des chaussées urbaines démontables (CUD)
Th. Sedran, F. de Larrard, J.-M. Balay, J.-P. Kerzrého

136 Matériel, produits et procédés
F. Marmier

Resúmenes
Notre revue en espagnol sur le site

REVUE GÉNÉRALE DES ROUTES ET DE L'AMÉNAGEMENT - RGRA - S.A.S.

9 rue de Berri
75008 PARIS
Tel. +33 (0)1 40 73 80 00
Fax. +33 (0)1 44 13 32 98

Directeur de la publication
Président
Jean-Louis Marchand
jlmarchand@editions-rgra.com

Directeur
Pierre de Thé
pierre.dethe@editions-rgra.com

Directeur des rédactions
Rédacteur en chef
Marie-Françoise Ossola
mfozola@editions-rgra.com

Chef de rubriques
Françoise Marmier
fmarmier@editions-rgra.com

Comité de pilotage
Guy Beurier, Jean-Pierre Christory,
Marc Courbot, Jean-Luc Gautier,
Bernard Héritier, Eric Layerle,
Jean-Marie Masson, Jean-Louis Perrot
Publicité et ventes
Emmanuelle Hammaoui
ehammaoui@editions-rgra.com
Tel. +33 (0)1 40 73 80 07

Commission paritaire n°0116T80258
Dépôt légal . octobre 2013
ISSN 1290-256X





Jean-Louis MARCHAND
Président
RGRA

Une page se tourne

Jean Berthier nous a quittés. Nous étions très nombreux le vendredi 23 août à lui rendre hommage, en l'église Saint-Rémy de Vanves. Dans une oraison funèbre émouvante, reprise dans nos colonnes, Patrice Parisé a su trouver les mots dans lesquels chacun pouvait reconnaître l'exceptionnelle figure humaine qu'il a été toute sa vie pour sa famille, ses amis, ses collègues, ses collaborateurs.

Sa disparition brutale est intervenue au moment même où il venait de mettre la toute dernière main au texte racontant, pour ce numéro de la RGRA, l'histoire du manège de fatigue de Nantes, dont le 35^e anniversaire est fêté dans les pages qui suivent. Vous comprendrez dans cet article quelle place éminente a été celle de Jean Berthier au sein de la communauté routière au temps de sa splendeur.

Une page se tourne. Il était avec nous le 10 mai 2012 pour tourner celles du numéro 900, nous dire son attachement à la RGRA, et ce qu'il imaginait être son futur :

« J'ai été un lecteur très fidèle de la RGRA pendant mes 40 ans de carrière, avec le sentiment que j'aurais failli à mon titre d'ingénieur si je ne m'étais pas maintenu constamment à jour dans mon domaine technique ». Il se sentait parfois un peu seul dans cette conviction, le regrettant vivement, certain que « les maîtres d'ouvrage n'ont jamais eu autant besoin de disposer auprès d'eux d'une expertise de haut niveau de compétence et constamment à jour ». Il appelait au partage des informations, à la confrontation des décisions, aux débats techniques, à une diffusion très rapide des inventions et des innovations de tous les acteurs du secteur routier, dans les pages de la RGRA naturellement.

A la lecture du numéro 900, Jean Berthier soulignait qu'« *il apparaît clairement que les extraordinaires progrès de la technique routière ont été engendrés par le souci d'ingénieurs de terrain imaginatifs et entreprenant de trouver des solutions aux difficultés concrètes rencontrées dans la conception, la construction et la gestion de leurs réseaux, dans la mise en œuvre des matériaux, dans la durabilité des chaussées, dans le maintien de leur niveau de service [...]. C'est fondamentalement sur le terrain que s'est inventée la route moderne* ».

Il avait compris les bouleversements apportés par la montée en puissance de normes européennes, et par la décentralisation. Il avait vu la route devenir « *le support de la mobilité sous toutes ses formes* », saluait la création et les ambitions de l'IDRRIM, et concluait en exprimant « *sa conviction que la nouvelle RGRA - celle où le A est désormais celui de l'Aménagement - continuera, dans le domaine élargi que ses responsables lui ont demandé d'aborder, d'être la source principale d'information pour les ingénieurs en même temps que la plate-forme de rencontres et de débats qui permettra d'aller vers de nouveaux progrès* ».

Une page se tourne. Le CEREMA se crée au 1^{er} janvier 2014 ; dans la continuité de nos traditions, son préfigurateur, Bernard Larrouturou, livre dans nos pages sa vision de cet établissement public appelé à devenir le digne successeur de ce réseau scientifique et technique (RST) d'excellence qu'incarnerait magistralement Jean Berthier.

Ce regroupement dans le CEREMA (et la consolidation espérée) des compétences techniques indispensables au secteur des infrastructures a été voulu par tous les acteurs concernés. L'essentiel reste bien sûr à faire, à savoir recréer un cadre partenarial et collaboratif de travail entre les différentes directions et services du CEREMA et les collectivités territoriales, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, organisations professionnelles, entreprises ; il sera le seul garant d'une excellence à reconstruire.

La réussite du CEREMA passera par celles de la RGRA et de l'IDRRIM, qui témoigneront de cette capacité qu'aura eue le CEREMA à sortir des prés carrés historiques, à s'irriguer et s'enrichir des échanges, des débats portés par les comités opérationnels de l'IDRRIM, eux-mêmes nourris des articles et des informations diffusés rapidement et librement par la RGRA.

Une page se tourne. Pour la RGRA également : s'illustrant depuis 18 ans tant par ses exigences techniques que par sa défense de la langue française, Marie-Françoise Ossola a souhaité passer progressivement, dans les mois qui viennent, le relais à Pierre de Thé, nouveau directeur de la RGRA. L'occasion de poursuivre la réflexion quant aux contours de la RGRA de demain, à ses interfaces avec les nouveaux acteurs, dans un contexte dont chacun perçoit qu'il offre une opportunité, à ne pas manquer, de rebâtir une communauté routière innovante et durable.

Patrice Parisé rend hommage à Jean Berthier

Le 23 août dernier, les obsèques de Jean Berthier ont été célébrées, en présence de très nombreux représentants du monde de la route.

Lui-même ancien directeur des Routes, Patrice Parisé, vice-président par intérim du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD), lui a rendu un dernier hommage.

Nous publions le texte de son témoignage pour saluer sa mémoire, dans ce numéro spécial auquel il a beaucoup contribué.

« Jean Berthier, ingénieur général honoraire des Ponts et chaussées, vient de nous quitter, emporté le 17 août par une maladie foudroyante.

Né le 7 décembre 1933 en Saône-et-Loire de parents tous deux instituteurs, il accomplit ses études secondaires au lycée de Louhans puis au lycée du Parc à Lyon avant d'intégrer l'Ecole Polytechnique en 1954, puis l'Ecole nationale des Ponts et chaussées (ENPC).

Trente ans au service de la route

Sa carrière au ministère des Travaux publics et des Transports commence en 1959. C'est surtout dans le domaine des routes qu'il laisse une empreinte profonde. Il y tient successivement plusieurs postes dans lesquels il allie compétence technique, curiosité intellectuelle et souci constant d'innovation : au service des Ponts et chaussées de l'Aisne tout d'abord, où il dirige un arrondissement ; au Laboratoire central des Ponts et chaussées (LCPC), dont il sera rapidement nommé adjoint au directeur ; à la direction régionale de l'Équipement d'Île-de-France (DREIF), où il assure la maîtrise d'œuvre de tous les grands projets routiers de la région parisienne ; puis au très important et renommé Service technique des routes et autoroutes, le SETRA, dont il devient le directeur en 1977.

Dans cette fonction, il poursuit activement la définition de la politique technique routière nationale ainsi que le développement des outils et méthodes dont les services routiers ont besoin.

Bien que les questions environnementales n'aient pas l'acuité qu'elles revêtent aujourd'hui, sous son impulsion le bruit, l'intégration des routes dans le paysage et la protection de la faune et de la flore commencent à être pris en compte dans les projets.

En 1983, la nomination de Jean Berthier à la tête de la direction des Routes, à l'époque la direction emblématique du ministère de l'Équipement, apparaît naturelle tant ses compétences et sa connaissance intime des questions routières sont reconnues.

Lorsqu'il quitte cette direction en 1989, il a consacré 30 années de sa vie professionnelle à la route dont il connaît toutes les facettes, de la construction à l'exploitation au bénéfice desquelles il a mobilisé les techniques les plus actuelles. Il est considéré comme l'un des pionniers de la route moderne.

Il devient ensuite président du conseil d'administration du Bureau central d'études pour l'outre-mer (BCEOM) tout en étant membre permanent du Conseil général

des Ponts et chaussées (CGPC). Il exerce parallèlement de nombreuses autres fonctions : il est ainsi président du Conseil national de l'information géographique (CNIG), membre du conseil scientifique du laboratoire de mécanique des solides de l'Ecole Polytechnique, président du comité d'essais de matériaux de l'Association mondiale de la route (AIPCR) et premier délégué de la France auprès de cette association.

Il est l'auteur de plusieurs ouvrages sur les techniques et matériaux routiers et assure des activités d'enseignement à la faculté d'Orsay, à l'Ecole nationale de géologie de Nancy et à l'ENPC où il est maître de conférences de mécanique des sols et professeur de routes. Il a également été chargé de plusieurs missions pour le compte du ministère de l'Équipement dans le domaine de la recherche en génie civil, notamment concernant son organisation.

Une retraite active et experte

A la date de sa retraite, en 1999, Jean Berthier ne cesse pas d'être actif. Il s'établit consultant en génie civil et systèmes de transport. Il soutient la recherche dans ces domaines. Il exerce des responsabilités au sein du Conseil national des ingénieurs et scientifiques de France (CNISF) et de l'Union internationale des ingénieurs et scientifiques (UIIS) utilisant la langue française.

Ses compétences techniques, ses grandes capacités de réflexion et sa hauteur de vue lui valent d'être sollicité à plusieurs reprises, après son départ de l'Administration, pour donner son avis sur des questions difficiles. Il se voit notamment confier, en 2004, la présidence de la commission d'enquête sur l'effondrement de la voûte du terminal 2E de l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle et,

en 2007, celle d'un groupe d'experts internationaux chargés de proposer un nouveau tracé pour la Route du littoral à l'île de La Réunion, exposée à de dangereuses chutes de blocs de la falaise qui la surplombe.

Ces dossiers sensibles et techniquement complexes lui donnent une nouvelle fois l'occasion d'exprimer ses talents d'ingénieur et sa foi dans la technique. Fidèle à sa pratique et toujours très soucieux de la qualité de ce qu'il entreprend, il mobilise la meilleure expertise sur les sujets qu'il a à traiter et n'hésite pas à recueillir de nombreux avis avant d'arrêter ses conclusions.

Mais au-delà de sa brillante carrière, ce qui caractérisait Jean Berthier ce sont ses qualités humaines. A son contact, on ne pouvait manquer d'être tout à la fois impressionné et séduit par sa grande simplicité, par son humilité, par ses qualités morales, par l'attention qu'il manifestait aux autres et par le respect qu'il avait pour les positions de ses interlocuteurs, quel que soit leur niveau.

Pour toutes ces qualités, qui lui valurent d'être élevé au grade de commandeur de l'Ordre de la Légion d'honneur, Jean Berthier suscitait l'estime et le respect au sein de l'Administration mais aussi à l'extérieur. Beaucoup avaient même de l'affection pour lui. C'est un grand « monsieur » qui nous a quittés. Il a exercé les métiers d'ingénieur et de fonctionnaire dans toute leur noblesse en faisant honneur au corps auquel il appartenait. Il restera un exemple pour le personnel des ministères du Développement durable et des Transports ». ■

Suppression d'aides à l'apprentissage Une décision incohérente et incompréhensible pour les entreprises de Travaux publics

En annonçant en juillet dernier la suppression de l'indemnité compensatrice forfaitaire (ICF) pour les entreprises de 10 salariés et plus qui embauchent un apprenti, le gouvernement ajoute un nouvel obstacle au développement des modes de formation en alternance. En effet, cette mesure succède à la suppression de l'aide à l'embauche des jeunes en alternance intervenue en 2012 et après le refus du gouvernement d'adapter de façon appropriée la réglementation applicable aux apprentis mineurs, notamment pour ceux qui se forment à la conduite d'engins.

La Fédération nationale des Travaux publics (FNTP) y voit un mauvais coup porté aux entreprises s'engageant en faveur de l'apprentissage. Alors que les entreprises de 250 salariés et plus sont tenues d'employer 4 % de leurs effectifs dans le cadre de contrats en alternance (5 % en 2015), les mesures annoncées par le gouvernement vont à l'encontre de l'objectif qu'il s'est lui-même fixé : atteindre l'effectif de 500 000 apprentis en France en 2017, contre 435 000 aujourd'hui. Cette décision apparaît donc en totale contradiction avec le discours du gouvernement en faveur du développement de l'alternance et de la mobilisation pour l'emploi des jeunes.

La FNTP rappelle que depuis 10 ans, la profession des Travaux publics réalise un effort considérable pour développer les modes de formation en alternance, par la création d'un réseau de centres de formation d'apprentis, et par la formation et la valorisation des tuteurs.

En dépit de la crise économique qu'elles traversent, les entreprises de Travaux publics ont, jusqu'à présent, continué d'augmenter chaque année le nombre de leurs apprentis.

Les mesures annoncées risquent de porter un coup d'arrêt brutal à ce développement

Olympiades des métiers 2015 : les inscriptions sont ouvertes !

Avec 8 médailles et 16 médaillons d'excellence, la France a brillé en se classant à la 8^e place mondiale lors de la dernière *WorldSkills Competition* de Leipzig (Allemagne) en juillet dernier. Avec une ambition renouvelée, WorldSkills France prépare déjà les prochaines étapes de ce concours international des jeunes et des métiers : les inscriptions pour la 43^e édition sont désormais ouvertes. Les jeunes filles et garçons, âgés de moins de 23 ans, désireux de vivre une aventure unique, peuvent tenter leur chance et s'inscrire dès à présent sur www.worldskills-france.org pour participer à la prochaine compétition mondiale qui se tiendra à São Paulo (Brésil) en 2015.

■ MEDDE - DGITM

Dominique Ritz a été nommé sous-directeur de l'Aménagement du réseau routier national à la direction générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM) au ministère de l'Écologie (MEDDE). Laurent Probst a été nommé sous-directeur de la gestion du réseau autoroutier concédé au sein du service de la gestion du réseau national (direction des infrastructures de transport).

■ DREAL Bretagne

Marc Navez est nommé directeur régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

■ CGDD

Franck Jung a été nommé sous-directeur de l'animation scientifique et technique à la direction de la Recherche et de l'Innovation au sein du Commissariat général au développement durable (CGDD). Adrien Friez a été nommé sous-directeur des statistiques des transports au service de l'observation et des statistiques.

Votre expérience nous intéresse



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

Veillez envoyer votre candidature à l'adresse suivante:
Office fédéral des routes OFROU
domaine Personnel
Mühlestrasse 2
3003 Berne-Ittigen

Pour tout renseignement supplémentaire, adressez-vous à Mme Luzia Seiler, responsable du secteur Tracé et gestion de l'entretien
tél: +41 31 322 94 43

Ref. Code: 10817

L'Office fédéral des routes (OFROU), dont le siège principal se trouve à Ittigen, est l'autorité suisse compétente en matière d'infrastructure et de circulation routières.

Spécialiste en tracé

Le domaine Standards, recherche et sécurité de la division Réseaux routiers élabore les normes de construction et d'entretien des routes nationales. En tant que spécialiste en tracé, vous déterminez les prescriptions et concepts pour le secteur Tracés et gestion de l'entretien, notamment les routes nationales de 3^e classe, en étroite collaboration avec les praticiens spécialisés de la division Infrastructure routière. Vous veillez également à intégrer dans les prescriptions les derniers développements de la recherche et de l'industrie. Vous dirigez à cet effet les groupes de travail requis, tout en assurant la représentation de l'office au sein de divers organismes nationaux.

Pour assumer ces tâches complexes, vous êtes titulaire d'un diplôme d'ingénieur EPF/HES en génie civil et possédez des connaissances solides ainsi que plusieurs années d'expérience professionnelle, de préférence dans le domaine de la construction routière. De caractère ouvert et motivé, vous avez le sens des réalités et savez fixer les priorités. Vous avez l'expérience de la gestion des projets et prenez plaisir à travailler avec des spécialistes d'autres secteurs. Votre intérêt pour la mise en pratique des connaissances est à la hauteur de celui que vous portez à la recherche et à l'innovation. Outre votre vivacité d'esprit et vos talents rédactionnels, vous êtes prêt à exploiter vos connaissances et vos compétences de manière novatrice. Si vous vous reconnaissez dans ce profil et que vous êtes à même de communiquer dans deux langues officielles, vous êtes la personne qui saura satisfaire le mieux aux exigences de ce poste à responsabilités et nous serions heureux de recevoir votre dossier de candidature.

Lieu de travail: Ittigen

Taux d'occupation: 100 %

Nouveau président pour la FNTP

Le conseil d'administration de la Fédération nationale des Travaux publics (FNTP) a élu son nouveau président. Bruno Cavagné succède à Patrick Bernasconi. Ce dernier, après plus de huit ans de mandat, a été nommé le 8 juillet dernier, vice-président du Medef, en charge des mandats, des branches et des territoires.



Bruno Cavagné, 50 ans, dirige à Toulouse le groupe Giesper, dont il a diversifié les activités : génie civil, canalisations, VRD, gros œuvre, peinture, recyclage, hôtellerie et promotion, et dont les sociétés sont implantées dans le sud de la France et en Guadeloupe.

Homme d'échanges et de rencontres, Bruno Cavagné s'est impliqué dans la vie professionnelle comme dans son entreprise, depuis de longues années : d'abord à Toulouse au sein de la Fédération régionale des Travaux publics (FRTP) (président de 2008 à juin 2013) et de la Chambre de commerce et d'industrie (CCI) (président de la commission des marchés de 1997 à 2009) ; administrateur de Canaliseurs de France puis de la FNTP et du Syndicat de France. Membre des bureaux depuis 2007, il était également vice-président de la FNTP et est administrateur de la SMAVie et de la CNETP. Très attentif à la baisse de compétitivité des entreprises liées au secteur des Travaux publics, Bruno Cavagné entend placer les pouvoirs publics face à leurs responsabilités et les convaincre de la nécessité de renouer avec une démarche d'investissement tout en leur suggérant de réfléchir à des solutions innovantes. Il est chevalier de l'Ordre national du mérite, au titre du ministère de l'Ecologie (MEDDE).

La FNTP lance un cursus de formation spécifiquement dédié aux dirigeants de PME des TP

Afin d'aider les responsables de PME des Travaux publics (TP) à préparer l'avenir de leur entreprise, la Fédération nationale des Travaux publics (FNTP) lance avec le concours de Ponts Formation Conseil, un programme de formation intitulé « Entrepreneur 21 ». Il s'agit d'un cursus de 18 jours qui a pour objectif de donner aux entrepreneurs, sur des thématiques managériales, le cadre et les repères pour mieux piloter une entreprise de TP. L'originalité de ce cycle de formation réside dans son adaptation aux spécificités et aux évolutions en cours dans ce secteur d'activité, qu'il s'agisse du développement de nouvelles formes de marchés, de la gestion des risques ou des changements législatifs et réglementaires en matière de droit du travail, d'environnement ou de sécurité.

Les onze premiers stagiaires ont débuté leur formation le 10 septembre à Nantes (Pays de la Loire). Deux autres cursus seront lancés avant la fin de l'année : en Provence-Alpes-Côte d'Azur (novembre) et en Bourgogne/Franche-Comté (décembre). En 2014, six autres cycles de formation sont d'ores et déjà programmés : Midi-Pyrénées, Aquitaine, Languedoc-Roussillon, Rhône-Alpes/Auvergne, Centre.

■ EPADSA

Jean-Claude Ruyschaert, directeur régional et interdépartemental de l'Équipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France (DRIEA-IDF), a été nommé représentant de l'État au titre des transports au conseil d'administration de l'Établissement public d'aménagement de la Défense Seine Arche (EPADSA)

■ Ville de Paris

Valérie Lovat a été nommée conseiller Propreté, Environnement, Développement durable et Espaces verts au cabinet du maire.

■ Shell Bitumes

Laurent Costa est nommé directeur Bitumes France et Benelux. Il succède à Nicolas Lunot qui devient responsable global du développement des Activités soufre.

■ AQP

Philippe Decarnin (Colas) a été nommé président de l'Association qualité pesage (AQP). Il succède à Louis Maison (Eiffage Travaux Publics).

■ Holcim France

Sébastien Yafil prend la tête de la direction construction durable, nouvellement créée.

■ Spie Ile-de-France Nord-Ouest

Philippe Girault a été nommé directeur général.

■ Grontmij

Hubert Habib, *Global Director Transportation & Asset Management* de Grontmij Group, prend des responsabilités élargies pour développer le marché Transport & Mobilité de Grontmij France.

■ IRF Genève

Ian Webb a été nommé, par intérim, directeur général du Programme Center de la Fédération internationale de la route (IRF), pour une période de 6 mois.

■ Fed Construction

Le groupe Fed, groupe français indépendant en recrutement temporaire et permanent spécialisé, ouvre Fed Construction, entièrement dédié aux fonctions du bâtiment et des travaux publics (BTP). Virginie Flasque en prend la tête.

A suivre

A40 et Route blanche (RN 205) ATMB réalise des travaux pour la sécurité de ses clients

Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc (ATMB) œuvre quotidiennement pour améliorer la sécurité des automobilistes. Dans cette perspective, des travaux seront réalisés jusqu'au 8 novembre 2013 avec des aménagements de circulation spécifiques. Ces opérations portent sur la réfection de l'étanchéité des ponts sur les communes de Scionzier et Marnaz, la finalisation de la pose de la casquette en béton sur la RN 205 dans la descente des Egratz.

Jusqu'au 25 octobre : entretien des ponts de Scionzier et de Marnaz sur l'A40

Ces travaux sont programmés dans le cadre du cycle d'entretien et de maintenance des 200 ponts situés tout au long du réseau d'ATMB. Il s'agit de procéder à la réfection de l'étanchéité des chaussées et au remplacement des parties latérales de chaque ouvrage. Les ponts de Scionzier et de Marnaz étant situés à proximité l'un de l'autre, ATMB a choisi de regrouper ces travaux pour optimiser les aménagements de circulation et les balisages en conséquence. Les interventions s'étendront des points kilométrique 23 à 26, dans les deux sens de circulation, sur les communes de Marnaz et de Scionzier. La circulation s'effectuera sur une seule voie dans chaque sens durant toute la durée des travaux. Pour sécuriser la zone, le chantier sera protégé par des séparateurs de voies en béton.



Réfection de la casquette en béton sur la RN 205

Jusqu'au 8 novembre : achèvement de la casquette en béton sur la RN 205

La prévention des chutes de pierre est un enjeu majeur pour la sécurité des automobilistes. ATMB a ainsi investi 4,4 millions d'euros pour la pose de grillages, d'écrans pare-blocs et d'une casquette en béton de 100 m de long dans la descente des Egratz. Début septembre, ATMB a entrepris la 4^e et dernière phase de ce chantier spectaculaire afin d'achever les 50 derniers mètres de cette casquette. Pour la sécurité des équipes d'ATMB et des entreprises sous-traitantes, les travaux impliquent :

- la fermeture du sens Chamonix > Genève sur 6 km,
- la mise à double sens de la circulation sur 6 km sur l'actuelle voie Genève > Chamonix entre les échangeurs du Châtelard et du Fayet,
- la fermeture de la bretelle d'accès du Châtelard en direction de Genève. La vitesse sur cette portion de la RN 205 sera limitée à 50 km/h dans les deux sens de circulation.

■ Tramway du Grand Avignon Avis favorable

de la commission d'enquête
La commission chargée de conduire l'enquête publique sur le projet de tramway a émis un avis favorable sans aucune réserve et a considéré « que le tramway constitue pour la ville et pour l'agglomération d'Avignon une opportunité réelle aussi bien qu'un puissant outil de développement durable, en améliorant substantiellement l'offre de transport ». Une avancée très positive pour le projet qui devrait être prochainement déclaré d'utilité publique, étape administrative indispensable pour engager la réalisation.

www.vaucluse.gouv.fr

■ Montpellier Agglomération DUP pour la ligne 5 du tramway

Suite à l'enquête publique et à la réception de l'avis favorable de la commission d'enquête, le préfet de l'Hérault a délivré à Montpellier Agglomération la déclaration d'utilité publique (DUP) concernant la réalisation du tronçon Lavérune/ Clapiers de la ligne 5 de tramway.

Les travaux de déviation de réseaux d'eau potable ont démarré au carrefour de Montferrier-sur-Lez.

Les principaux travaux suivront au cours du 2^e trimestre 2014 par le centre-ville de Montpellier, avec les déviations de réseaux et l'engagement des travaux d'infrastructures.

Les 1^{res} consultations des entreprises pour les marchés principaux de travaux seront engagées avant la fin 2013 (marchés d'infrastructures et de voies ferrées pour la section centrale correspondant au bouclage de la ligne 4 sur les boulevards du Jeu de Paume/Ledru Rollin/Vialleton et Henri IV).

La mise en service de la ligne 5 est programmée fin 2017, avec une mise en service anticipée du bouclage de la ligne 4 en 2016.

Iter Le convoi a réussi son test

La campagne de mesures et de tests le long de l'itinéraire Iter a eu lieu du 16 au 20 septembre. La remorque autopropulsée, qui reproduit les dimensions et le poids des convois les plus exceptionnels du programme de réacteur nucléaire Iter, a cheminé pendant quatre nuits consécutives pour rallier le site Iter à Saint-Paul-lez-Durance (13).

Des ponts ont été construits, des routes élargies, des ronds-points aménagés... Un travail de titan pour acheminer des composants de haute technologie destinés au chantier du projet de recherche nucléaire Iter, sur le site de Cadarache (13).

Les premiers convois en provenance des sept membres de l'aventure (Union européenne, Etats-Unis, Russie, Chine, Inde, Corée et Japon) ne sont attendus qu'à partir de juin 2014, mais dès le 16 septembre, une remorque hors normes a emprunté l'itinéraire routier de 104 km tracé pour l'occasion, au départ de Berre-l'Etang.

Quatre nuits durant, le véhicule mis au point par l'équipementier français Daher a sillonné les routes en une lente procession (5 km/h), affichant des mensurations exceptionnelles : 33 m de long, 9 à 10 m de hauteur et de large et 352 pneus. A chaque extrémité, une cabine de pilotage et un moteur pour faciliter les manœuvres.

Supportant le poids de 360 blocs de béton (800 tonnes), cette remorque dite « autopropulsée », qui peut être pilotée de l'extérieur, préfigure les convois les plus lourds et les plus volumineux d'Iter. Et pour mieux mettre à l'épreuve les ouvrages du parcours (ponts, voûtes, canalisations...), elle les a franchis à trois reprises, sous l'œil attentif de caméras.

Une expérience inédite

Résistance, trajectoire, largeur de la chaussée : des experts ont réalisé toute une panoplie de mesures, parfois au dixième de millimètre. « Il s'agit de tester la faisabilité du projet en vue du passage des 230 convois » très exceptionnels programmés de 2014 à 2019, dont une trentaine similaires à cette remorque, explique le préfet de région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), Michel Cadot.

« Aucune matière nucléaire n'est transportée d'aucune façon », insiste-t-il, tenant à rassurer les riverains s'interrogeant sur la dangerosité des colis.

Cette expérience inédite a nécessité d'importants travaux, financés par le conseil général (72 millions d'euros) et l'Etat (40 millions). Au total, 26 ponts ont été construits ou renforcés, des lignes électriques et téléphoniques enterrées ou surélevées, 19 ronds-points aménagés, quatre traversées d'autoroute (A7 et A51) planifiées, 35 km de route adaptés, des pistes dessinées et même un quai de débarquement construit !

L'opération était pilotée par la gendarmerie, qui peut faire valoir son expérience dans l'itinéraire Airbus. Objectif : minimiser les nuisances pour les habitants et automobilistes affectés par les 260 km de déviations et de contournement mis en place dans 41 communes de la région.

Après ce convoi test aux contraintes extrêmes, une répétition générale aura lieu d'ici à fin 2013 dans les conditions réelles, avant le premier véritable transport de composants technologiques en juin 2014.

Le directeur général d'Iter Organization, le Japonais Osamu Motojima, salue un « jalon essentiel. L'énergie de fusion n'est plus un rêve, mais un objectif réel et ces campagnes de test en sont la démonstration », souligne-t-il.

Pour Jérôme Paméla, directeur de l'agence Iter France, « c'est un premier aboutissement, la matérialisation d'un projet unique au monde », au coût global de 15 milliards d'euros.



La remorque autopropulsée a cheminé pendant 4 nuits pour rallier le site Iter à Saint-Paul-lez-Durance

Le projet Iter, présenté comme la plus grande coopération scientifique mondiale, vise à démontrer - avec de premiers résultats à l'horizon 2021 - la possibilité de produire de l'énergie nucléaire « propre » grâce à la fusion thermonucléaire, processus à l'origine de l'énergie des étoiles.

Sur le site de Cadarache, à Saint-Paul-lez-Durance dans le sud de la France, le chantier prend corps, prêt à accueillir 3 000 ouvriers sur les deux prochaines années, et le futur réacteur Tokamak, un cylindre de 28 m de diamètre, 29 m de haut et 23 000 tonnes intégré dans un bâtiment de 80 m de haut, sort lentement de terre.

Vinci Autoroutes Modernisation de la gare de péage de Nîmes-Ouest (A9)

Vinci Autoroutes entreprend d'importants travaux de modernisation de la gare de péage de Nîmes-Ouest (n° 25) sur l'A9, jusqu'à la fin décembre 2013. Ce chantier représente un investissement d'environ 700 000 euros.

Il s'agit de déployer de nouveaux équipements, qui faciliteront notamment le passage au péage quel que soit le moyen de paiement utilisé, et amélioreront la qualité de l'assistance au client. Les dispositifs pour assurer la sécurité des clients et du personnel seront également renforcés.

Les travaux nécessiteront des fermetures temporaires et successives de voie(s) de péage.

Pour la sécurité de ses visiteurs, l'espace client télépéage, situé sur cet échangeur, sera également fermé durant les travaux.

Les travaux s'inscrivent dans le cadre d'un vaste programme de modernisation qui porte sur :

- 180 gares du réseau Vinci Autoroutes concernées et 280 millions d'euros d'investissement,
- 26 gares de péage rénovées et plus de 35 millions d'euros investis en Provence-Camargue,
- Nîmes-Ouest : plus de 11,7 millions d'entrées et sorties de véhicules cumulées par an réparties sur 4 voies d'entrées et 8 voies de sortie.

Deux nouvelles autoroutes ferroviaires

Les autoroutes ferroviaires permettent de transporter des poids lourds sur des trains dédiés. Elles participent au développement économique des territoires et favorisent le report modal pour le transport de marchandises, et donc la transition énergétique.

Frédéric Cuvillier a annoncé la création de deux nouvelles autoroutes ferroviaires :

- l'autoroute ferroviaire qui reliera la Côte d'Opale (Calais) à la Côte Vermeille (Le Boulou). Le contrat porte sur l'achat des 102 wagons dédiés nécessaires, pour un montant de 39 millions d'euros. L'autoroute ferroviaire Côte d'Opale – Le Boulou sera mise en place début 2015.
- l'autoroute ferroviaire Atlantique, entre Lille (terminal à Douvres dans le Pas-de-Calais) et Bayonne (terminal à Tarnos dans les Landes), sera mise en service au début de 2016, pour un investissement de 400 millions d'euros. L'entreprise Lohr Industries recevra, à échéance de quelques mois, une commande de 278 wagons. Le dispositif reportera 85 000 poids lourds par an de la route vers le rail, réduisant ainsi les émissions de CO₂ d'environ 75 000 tonnes. Il entraînera la création de 500 emplois, dont 75 emplois dédiés à l'exploitation et à la maintenance des wagons.

Il existe déjà deux autoroutes ferroviaires :

- Bettembourg (Luxembourg) – Le Boulou (Pyrénées-Orientales) : cette autoroute ferroviaire, ouverte depuis 2007, a transporté 55 000 poids lourds en 2012. Son trafic a augmenté de 9 % au 1^{er} semestre 2013 par rapport au 1^{er} semestre 2012. Les rames de la future autoroute ferroviaire desservant les ports de la Côte d'Opale rejoindront cet axe existant jusqu'au Boulou.
 - L'autoroute ferroviaire alpine : ouverte depuis 2003, entre Torbassano (Italie) et Aiton (Savoie), elle affiche également un trafic en croissance, en transportant désormais 25 000 poids lourds par an sur 175 km de voies.
- Pour Frédéric Cuvillier, « le lancement de ces deux nouvelles autoroutes ferroviaires illustre la volonté du gouvernement de relancer le fret ferroviaire et le ferroutage en développant des services innovants. Ce sont des projets concrets, qui à la fois réduisent le nombre de poids lourds sur nos axes routiers et autoroutiers, et donc la pollution de proximité et les émissions de gaz à effet de serre ».

CDG Express

RFF et ADP prêts à travailler ensemble

Réseau Ferré de France (RFF) et Aéroports de Paris (ADP) sont prêts à se lancer dans la construction d'une liaison rapide entre Paris centre et Roissy Charles-de-Gaulle, a indiqué Augustin de Romanet, président-directeur général d'ADP.

« Ce qui est clair aujourd'hui, c'est que RFF, probablement instruit par le ministre des Transports, accepte de se lancer dans un projet de construction d'une infrastructure avec Aéroports de Paris », a déclaré Augustin de Romanet. ADP s'engage « comme actionnaire de ce gestionnaire d'infrastructures », a-t-il ajouté, soulignant l'évolution de la position du groupe « puisque dans le passé, la société estimait que cela n'était pas de son devoir ». Chez RFF, on confirme que « le gouvernement a demandé à ADP et RFF de travailler ensemble pour faire des propositions sur la mise en œuvre du projet CDG Express ».

« Je pense que, compte tenu de la situation des finances publiques, je ne dois pas demander à l'Etat quelque chose qu'il n'a pas les moyens de financer et je préfère ne pas chiffrer les coûts de la non réalisation de CDG express », a souligné le président d'ADP. « Je préfère être positif et pro actif avec RFF ».

Déclaré d'utilité publique en décembre 2008, le projet d'une liaison ferroviaire directe de 32 km entre la capitale et l'aéroport international Paris-Charles-de-Gaulle avait été attribué en concession à Vinci, avec une entrée en service prévue en 2014. Mais le groupe de BTP avait finalement jeté l'éponge. Le gouvernement a depuis relancé le projet en ouvrant une nouvelle procédure de consultation. La nouvelle mouture devra être financée par les recettes des utilisateurs et des passagers aériens, sans apport de subvention de l'Etat et des collectivités locales. Augustin de Romanet a précisé que la taxe par passager « ne viendrait à être effective qu'à partir de la mise en service de l'équipement, vers 2023 ». L'inflexion de la position d'Aéroports de Paris devrait contribuer à débloquer ce dossier épineux. Son président a enfin expliqué que « tous les professionnels d'exploitation (RATP, Transdev, Deutsche Bahn, SNCF) seront appelés à concourir pour l'exploitation de cette ligne ». Reste au gouvernement et au ministre des Transports à décider le type d'option technique. « Nous avons remis conjointement un dossier à Frédéric Cuvillier fin juin-début juillet sur lequel nous attendons désormais des orientations », a-t-on expliqué chez RFF.

Rocade de Bordeaux Le bouclage de la mise à 2 x 3 voies en bonne voie

Michel Delpuech, préfet de la Région Aquitaine, préfet du département de la Gironde et Vincent Feltess, député de la Gironde, président de la Communauté urbaine de Bordeaux (CUB), ont fait un état des lieux du dossier de bouclage de la mise à 2 x 3 voies de la rocade de Bordeaux fin juillet 2013 au Centre de gestion de trafic de la direction interdépartementale des Routes Atlantique (DIRA) à Lormont.

A cette occasion, ils ont signé une convention relative au financement et au pilotage des études préalables à ces travaux. Elle permettra de mobiliser 4 millions d'euros (à parité de 50 % entre l'Etat et la CUB) pour réaliser la totalité des études nécessaires au bouclage de l'élargissement de la rocade. Elle prévoit :

- la poursuite des études de niveau projet de la mise à 2 x 3 voies entre les échangeurs 16 et 10, section qui a fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique en 2008, afin de réaliser les travaux nécessaires pour terminer ce tronçon à échéance fin 2016.
- l'accélération des études de la mise à 2 x 3 voies entre les échangeurs 10 et 4 pour une enquête d'utilité publique en 2015, en intégrant dans les études les pistes d'action mises en évidence dans le cadre du Grenelle des mobilités lancé fin 2011 par la CUB. L'objectif est de débiter les travaux sur cette section fin 2016.
- le lancement des études pour améliorer le fonctionnement de deux « points durs » sur la rocade Est. Le 1^{er} concerne l'accès au pont François-Mitterrand en direction de Paris (échangeur 21 – rocade extérieure) et le 2nd concerne l'échangeur avec la RN 89 (échangeur 26). Les études démarreront en 2014 pour des premiers travaux au niveau de l'échangeur 21 en 2017.

■ LGV Lyon-Turin

Travaux d'accès déclarés d'utilité publique

Un décret publié le 25 août au Journal officiel déclare d'utilité publique et urgents les travaux nécessaires à la réalisation de l'itinéraire d'accès au tunnel franco-italien de la liaison ferroviaire Lyon-Turin entre Colombier-Saugnieu (Rhône) et Chambéry (Savoie) ainsi que des aménagements localisés à Montmélan et Francin, d'une part, et entre Avressieux (Savoie) et Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie), d'autre part, conformément aux plans annexés au présent décret. Les expropriations nécessaires devront être réalisées dans un délai de quinze ans à compter de la publication de ce décret. Le maître d'ouvrage devra, s'il y a lieu, remédier aux dommages causés aux exploitations agricoles. En effet, des aménagements et des expropriations seront nécessaires dans plusieurs communes savoyardes.

■ Création de l'Orquasi Midi-Pyrénées

Le 13 juillet dernier, l'Observatoire régional sur la qualité de service des infrastructures (Orquasi) a été créé à l'initiative de la Fédération régionale des Travaux publics (FRTP) Midi-Pyrénées. Son président, Jean-Louis Chauzy, également à la tête du Conseil économique, social et environnemental (CESE) de la région, a dressé un constat de l'état des infrastructures et estime que désormais « il reste à prendre toute la mesure de l'usure des infrastructures de réseaux, qui connaissent des situations diversifiées, pour aider les acteurs publics et privés à mieux évaluer et planifier l'effort de rénovation ». Pour répondre à cet enjeu complexe, l'Orquasi Midi-Pyrénées parie d'abord sur la multiplicité des sources d'informations et des points de vue. Pour la 1^{re} fois, un organisme indépendant associé à sa démarche une pluralité d'acteurs régionaux : collectivités territoriales, entités gestionnaires de réseaux, association d'usagers des infrastructures, fédérations professionnelles, représentants de la société civile, monde de la recherche et de l'université, ...

www.fntp.fr/midi-pyrenees

■ Notre-Dame-des-Landes Nouveau revers pour les opposants

Les opposants au projet d'aéroport avaient saisi la Commission européenne estimant que la France ne respectait pas les lois européennes de protection de l'environnement dans le dossier. C'est un nouveau coup dur pour les opposants. La Commission européenne a estimé le 17 septembre que les autorités françaises n'étaient pas en infraction avec la législation européenne sur le projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes. « *A ce stade, il ne semble pas indiqué d'ouvrir une procédure* » contre la France, a affirmé Karl Falkenberg, haut-fonctionnaire de la Commission européenne, directeur général chargé de l'Environnement. Estimant que la France ne respecte pas les lois européennes de protection de l'environnement, les opposants au projet avaient saisi la Commission et, depuis le début de l'année, cette dernière a demandé à deux reprises des explications aux autorités françaises. Paris a répondu en détail aux questions de Bruxelles en juillet dernier. Ces réponses ont convaincu. Toutefois, la Commission ne clôt pas le dossier. Elle « *ne prend pas de décision définitive. Elle va continuer à surveiller de très près l'évolution du dossier. C'est au vu de l'ensemble qu'elle prendra sa décision* », a souligné Karl Falkenberg, rappelant que « *notre rôle n'est pas de juger si le projet est utile ou nécessaire, mais de vérifier que la mise en œuvre de tel ou tel projet se fait en conformité avec la législation européenne* ». Pour la 2^e fois en moins d'un mois, les opposants ont subi un revers. Au début septembre, le Parlement européen, contre l'avis des élus écologistes, avait refusé d'envoyer une mission d'enquête parlementaire sur le terrain.

■ Rennes Vinci remporte le contrat pour les travaux souterrains de la ligne B du métro

Le groupement d'entreprises piloté par Dodin Campenon Bernard (Vinci Construction) et comprenant GTM Ouest et Botte Fondations (filiales de Vinci Construction France), ainsi que Spie Batignolles TPCI, Spie Fondations et Legendre Génie Civil, a été désigné par Rennes Métropole pour réaliser les travaux souterrains (lot 1) de la ligne B du métro. Dans le cadre de ce contrat de près de 320 millions d'euros, Vinci réalisera 8 km de tunnel, 9 stations et 4 puits de secours associés. Le 1^{er} tour de roue du tunnelier aura lieu fin 2014, pour une livraison prévue en février 2018. Le chantier mobilisera jusqu'à 500 personnes, dont environ 60 % originaires de la région.

Grand Paris Express Lancement de l'enquête publique ligne rouge – 15 sud

L'arrêté préfectoral prescrivant l'ouverture de l'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique concernant le premier tronçon reliant les gares de Pont de Sèvres à Noisy-Champs (ligne rouge – 15 sud) a été signé par le préfet de la région d'Ile-de-France, préfet de Paris. Il intervient après l'approbation de l'opération d'investissement sur ce tronçon par le Conseil de surveillance de la Société du Grand Paris (SGP). L'enquête se déroulera du 7 octobre au 18 novembre 2013 inclus. La commission d'enquête sera présidée par Jean-Pierre Chaulet et sera composée de six membres titulaires et de deux suppléants.

Il s'agit d'une étape importante qui vise à informer le public et à recueillir les observations de tous les intéressés sur l'utilité publique du premier tronçon du métro du Grand Paris.

Elle fait suite à un important travail réalisé par la SGP et aux échanges continus qui ont eu lieu depuis 2 ans, en particulier aux 21 réunions publiques de concertation organisées à l'automne dernier.

La ligne rouge - 15 sud est longue de 33 km et entièrement souterraine. Elle traverse 4 départements (92, 93, 94, 77), concerne 23 communes et relie 16 gares.

Deux groupements retenus pour le 1^{er} tronçon de la ligne 15

La Société du Grand Paris (SGP) a attribué les premiers marchés de maîtrise d'œuvre et d'assistance à maîtrise d'ouvrage du Grand Paris Express.

Les marchés de maîtrise d'œuvre, couvrant la conception et le suivi de la réalisation des infrastructures du futur métro automatique pour un montant de 300 millions d'euros environ, ont été attribués à des groupements d'entreprises expérimentées associant des ingénieurs et des architectes.

Le premier groupement, porté par Systra (avec les agences d'architectes Nicolas Michelin, King Kong, Richez et associés, Valode et Pistre), sera en charge du tronçon Noisy-Champs - Villejuif-Louis Aragon. Le second, emmené par Setec (avec les agences d'architectes Philippe Gazeau, Ar. Thème, Barani, Périphériques, Brunet Saunier et Duthilleul), concevra la section Villejuif-Louis Aragon - Pont-de-Sèvres.

Comme ceux attribués pour la conduite d'opération à Arcadis et BG Ingénieurs Conseil, et pour les systèmes de transport à Systra, Egis et Setec-ITS, ces marchés contribueront à réaliser, dans les délais prévus, les études en vue d'un démarrage en 2015 des travaux du 1^{er} tronçon de la ligne 15 sud entre Pont de Sèvres et Noisy-Champs.

Libre tribune

Voitures électriques : « Borne » to be alive...

Dans sa tribune « De quoi je me M.E.L » sur son site Internet, Michel-Edouard Leclerc interpelle les pouvoirs publics sur le devenir de la voiture électrique. « Aujourd'hui, 20 septembre, François Hollande, se rend à Quimper chez un autre Breton : Vincent Bolloré. On va y parler du partenariat Renault/Bolloré sur la voiture électrique. Et le président de la République devrait faire quelques annonces sur des mesures pour accompagner la mutation du secteur automobile dans le cadre du programme de la transition énergétique.

J'ai déjà écrit sur ce blog que je n'étais pas un expert en la matière, mais qu'en tant que deuxième distributeur de carburant français et désormais important loueur de véhicules, les Centres E. Leclerc s'étaient déjà engagés pour une politique de mobilité durable.

Il est donc important de savoir si, au gouvernement, on veut vraiment valoriser le développement de la voiture électrique ou si ce thème est juste un élément de marketing politique.

Regardons les chiffres : les ventes de voitures électriques restent très faibles. Et tous les diagnostiqueurs professionnels s'accordent à dire que les Français n'achèteront de voitures électriques que si on implante un peu partout des bornes de recharge.

Nos adhérents ont – soit dans le cadre d'un partenariat avec Renault, soit à titre individuel – investi à leurs frais dans des bornes. Il y a même maintenant des collectivités locales qui se proposent de nous les financer pour compléter le maillage de leur ville. Un comble, à l'heure où elles doivent faire des économies budgétaires et alors qu'il suffirait de suivre notre proposition de réforme des Certificats d'économie d'énergie pour doper le dispositif sans que cela ne coûte à la collectivité !

Nous verrons si le président reprend cette idée à son compte. Il avait manifesté un réel intérêt pour cette initiative lors d'une rencontre en mai dernier. Tous les ministres, les directeurs de cabinet, les conseillers techniques et les parlementaires rencontrés m'ont indiqué être favorables à cette idée.

J'ai relancé, aujourd'hui (19 septembre, NDLR) dans quelques journaux, une interpellation des pouvoirs publics sur ce sujet.

La question du devenir de la voiture électrique individuelle est donc celle-ci : soit on se donne les moyens d'équiper très rapidement le pays en bornes de recharge (et si ce n'est pas en élisant les bornes au titre de Certificats d'économie d'énergie, que propose-t-on pour atteindre le même objectif ?), soit on ne fait rien pour booster ce déploiement de bornes, on le laisse à la charge supplémentaire des acquéreurs, et la voiture électrique (en tout cas la voiture électrique individuelle) restera, croyez-moi, un gadget de *happy few*.

Et dans ce dernier cas, ce n'est pas la peine que les distributeurs se précipitent ! ».

Nouveau Grand Paris Installation du 1^{er} comité de pilotage

Le premier comité de pilotage du Nouveau Grand Paris s'est réuni fin août, pour la 1^{re} fois, sous la présidence conjointe de Cécile Duflot et de Frédéric Cuvillier, ministre délégué chargé des Transports. Cette première réunion, qui se tient moins de six mois après les annonces faites par le Premier ministre, a fait le point sur la mise en œuvre opérationnelle du Nouveau Grand Paris, et notamment sur certains dossiers prioritaires :

- Le développement du nouveau réseau de métro automatique du Grand Paris Express, avec en particulier le lancement de l'enquête publique concernant le premier tronçon de la future ligne 15, qui reliera Pont-de-Sèvres à Noisy-Champs ; cette enquête se déroulera du 7 octobre au 18 novembre 2013, en vue du lancement des travaux dès 2015.

- Le suivi de la mise en œuvre du Plan de mobilisation en faveur des transports du quotidien : 6 milliards d'euros seront investis d'ici à 2017 pour accélérer la modernisation et le développement du réseau francilien existant et ainsi rapidement améliorer les conditions de transports des habitants.

- L'impact du Nouveau Grand Paris sur l'emploi : l'ensemble des travaux prévus et financés dans le cadre de ce projet seront à l'origine de nombreux emplois. La mise en œuvre du plan de mobilisation va créer plus de 57 000 emplois sur cinq ans, tandis que la construction du Grand Paris Express va générer 15 à 20 000 emplois par an, durant toute la durée des travaux. Les ministres accorderont une attention particulière à ce que ces emplois bénéficient à ceux qui en ont le plus besoin.

Le comité de pilotage se réunira une fois par trimestre sous la présidence des deux ministres. Le gouvernement pourra ainsi suivre au plus près l'avancée des différents projets et s'assurer de l'exécution rapide et concrète des engagements pris par le Premier ministre. Le prochain comité de pilotage se tiendra en décembre et devra notamment valider le contenu du protocole d'accord global de mise en œuvre du Nouveau Grand Paris qui devrait être signé d'ici à fin 2013 entre l'Etat, la région Ile-de-France, le Syndicat des transports d'Ile-de-France (Stif) et la Société du Grand Paris (SGP), en lien avec les opérateurs.

Succès pour l'appel à projets « transports collectifs et mobilité durable »

Frédéric Cuvillier a salué la mobilisation des collectivités locales qui ont déposé près de 120 projets pour répondre à l'appel d'offres du gouvernement portant sur les transports en commun et la mobilité durable. L'investissement global se monte à environ 5,8 milliards d'euros.

Dans le cadre de la semaine européenne de la mobilité qui a eu lieu en septembre, le ministre a souligné que « le nombre de projets de transports urbains portés par les collectivités, qui dessineront la mobilité durable de demain, dépasse largement nos prévisions, preuve que la transition écologique peut être impulsée et concrétisée au plus près des territoires, dans les transports de la vie quotidienne, au grand bénéfice des habitants des quartiers concernés ».

Les collectivités ont su utiliser toute la palette des solutions envisageables, au-delà des classiques travaux d'infrastructure. Certains projets portent sur des tramways, des bus à haut niveau de service (BHNS), des métros, du transport urbain par câble (téléphériques), des tram-trains, des navettes maritimes ou fluviales, ou des projets favorisant l'usage du vélo. Mais une vingtaine de ces projets envisagent des solutions d'information multimodale ou des pôles d'échange multimodaux.

L'Etat débloque une enveloppe de 450 millions d'euros pour soutenir ces projets, avec la volonté de promouvoir ceux qui favorisent le désenclavement des quartiers prioritaires et l'accessibilité pour tous. Les services de l'Etat vont prochainement valider les candidatures. La sélection des projets sera annoncée à la fin de l'année.

Parc éolien en Bretagne Le port de Saint-Quay-Portrieux retenu



Le port de Saint-Quay-Portrieux

Le consortium Ailes-Marines en charge du projet de parc formé par Iberdrola et Eole-Res, a, par la voix de son directeur, Emmanuel Rollin, proposé au conseil général des Côtes d'Armor de retenir la candidature de Saint-Quay-Portrieux pour l'implantation du port de maintenance du parc éolien en baie de Saint-Brieuc. Trois communes (Saint-Quay-Portrieux, Saint-Cast et Erquy) étaient en lice pour devenir l'hôte du port de maintenance du futur parc éolien.

Les élus départementaux ont entériné ce choix. Marie-Reine Tillon, pour le port de Saint-Cast-le-Guildo, et Yannick Morin, pour le port d'Erquy, ont fort légitimement exprimé leurs regrets quant à ce choix, qui a suscité de longs débats au sein de l'assemblée. Ils ont par ailleurs demandé des compensations, notamment pour le développement du tourisme industriel à partir de leurs ports respectifs, car ce spectaculaire chantier devrait drainer beaucoup de curieux. Un vœu qui a bien été pris en compte par Michel Brémont, vice-président en charge de la mer. La conclusion de ces débats revient à Claudy Lebreton, président du conseil général : « Si nous avions voté contre le choix d'Ailes-Marines, notre département risquait de perdre ce projet de 2 milliards d'euros, pour lequel le consortium a pré-sélectionné une vingtaine d'entreprises costarmoricaines pour la sous-traitance ».

Le port retenu accueillera les opérations de suivi de la production et la maintenance du futur parc éolien à partir de 2018. La création de 140 emplois directs est annoncée. Le chantier pour l'implantation du port de maintenance à Saint-Quay-Portrieux pourrait démarrer courant 2016 pour une mise en production de 20 éoliennes en 2018, sur les 100 unités prévues à terme.

Ile-de-France - A6 Travaux de réhabilitation environnementale

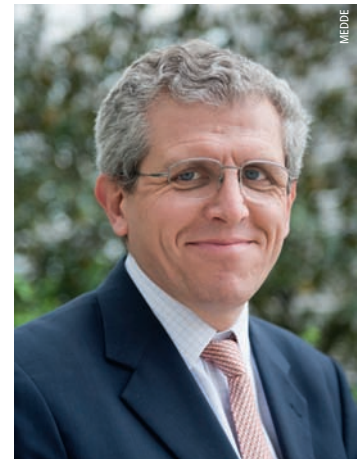
Sur l'autoroute A6 en Ile-de-France entre Chilly-Mazarin et Evry, un programme de réhabilitation environnementale a été lancé par l'Etat, la région Ile-de-France et le département de l'Essonne. La 1^{re} étape concerne le traitement des eaux de ruissellement pour améliorer leur qualité avant leur rejet dans le milieu naturel. Dans ce cadre, des travaux de réhabilitation des réseaux d'assainissement au droit de la cuvette de l'Orge ont été engagés. Ils comprennent la pose d'un réseau de canalisation enterré le long de l'A6 pour but la collecte et l'acheminement des eaux de ruissellement vers le bassin de stockage et de traitement situé à Morsang-sur-Orge (91). Débutés le 25 mars 2013, la poursuite de ces travaux nécessitent de fermer en permanence à la circulation la bretelle de sortie n° 7 Viry-Châtillon/ Fleury-Mérogis de l'A6 dans le sens Paris-province, jusqu'au 15 novembre 2013. Un itinéraire de déviation est mis en place.

Réforme des retraites La pénibilité prise en compte

Lors du conseil des ministres du 28 août, le Premier ministre a présenté une communication relative à la réforme des retraites, à l'issue de la concertation qui s'est achevée le 27 août 2013 avec les dernières réunions bilatérales avec les partenaires sociaux. Pour la première fois, une réponse concrète est donnée en termes de prévention et de réparation aux salariés qui vivent des situations de pénibilité qui affectent leur espérance de vie. Un compte personnel de prévention de la pénibilité sera créé dès 2015. Il sera ouvert pour tout salarié du secteur privé exposé à un ou plusieurs facteurs de pénibilité. Il permettra de cumuler des points, donnant droit à des formations, à un temps partiel en fin de carrière ou au bénéfice de trimestres de retraite. Pour les salariés du privé aujourd'hui proches de l'âge de la retraite qui ne pourraient accumuler suffisamment de points sur leur compte individuel, les points acquis seront doublés.

Cerema⁽¹⁾ : dès 2014, un nouvel établissement public au service de l'Etat et des collectivités

La loi du 28 mai 2013 portant sur les infrastructures et services de transports a acté la création au 1^{er} janvier 2014 du Cerema, un établissement public à caractère administratif regroupant les 8 CETE, le Certu, le Cetmef et le Sétra⁽²⁾.
Entretien avec Bernard Larrouturou, son préfigurateur.



M.-F. Ossola : Que va changer la création du Cerema et pourquoi le choix d'un établissement public plutôt que celui d'un service ministériel ?

• **B. Larrouturou** - Les motivations de cette évolution sont doubles. D'une part, le regroupement des 8 CETE et 3 services centraux, soit 3 200 personnes, favorisera un meilleur pilotage de l'ensemble et plus de synergies entre les 11 services. D'autre part, le choix du statut d'établissement public est motivé par un enjeu politique majeur : assurer la continuité d'un lien fort avec l'Etat tout en accroissant la relation avec les collectivités, appuyée sur la connaissance de terrain et l'expérience d'accompagnement des politiques publiques, et sur la participation des collectivités à la gouvernance du Cerema.

Ce statut offre au Cerema des marges de manœuvre, notamment en gestion des ressources humaines pour la recherche ou pour le recrutement d'experts de haut niveau, ou en matière de partenariat.

M.-F.O. : Quelle tutelle, quelle structure pour le Cerema ?

• **B.L.** - Dans la configuration actuelle du gouvernement, le Cerema est placé sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (intégrant les transports) et du ministère de l'Égalité des territoires et du Logement.

En termes de structures, le changement réside dans la création du siège du Cerema (à Bron, près de Lyon) et dans la coordination des onze entités : huit directions territoriales (les huit CETE) et trois directions techniques avec un rôle national et thématique. Ainsi par exemple, le Sétra deviendra la direction technique du Cerema en charge des infrastructures de transport et des matériaux et continuera d'être l'entité de référence dans les champs de la route et des ouvrages d'art.

La création du Cerema constitue une étape de plus dans les évolutions menées depuis le transfert du réseau routier aux départements et aux communes, en 2004 : le Cerema aura pour mission de travailler, dans ses différents domaines, au contact des collectivités et d'être attentif à leurs besoins et leur évolution.

⁽¹⁾ Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

⁽²⁾ CETE : Centres d'études techniques de l'Équipement ; Certu : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques ; Cetmef : Centre d'études techniques, maritimes et fluviales ; Sétra : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

M.-F.O : Quelle place du Cerema par rapport à l'IDRRIM ?

• **B.L.** - Le CEREMA y restera très présent : l'IDRRIM est un lieu de réflexion de la profession et des collectivités qui permet l'affirmation d'une communauté technique forte, ce qui est indispensable y compris à l'international.

Plus généralement, c'est un principe d'action fort pour le Cerema que de travailler de façon ouverte, en partenariat avec les acteurs concernés par ses différents champs d'intervention, que ce soit pour ses activités de recherche, de normalisation, d'études, d'expertise ou d'ingénierie.

M.-F.O. : Précisément, quels sont vos domaines et vos modalités d'intervention ?

• **B.L.** - Il y a les domaines historiques des CETE et du Sétra : les infrastructures de transport, routes et ouvrages d'art, mais aussi les transports au sens plus large du terme : mobilité, services de transport, régulation du trafic, sécurité routière, transports maritimes et fluviaux, intermodalité, ...

A ceux-ci s'ajoutent l'aménagement, l'habitat, l'environnement, la prévention des risques, l'énergie, le climat, ... La question de l'évolution de l'équilibre entre les différents domaines sera l'un des sujets majeurs du projet stratégique du Cerema.

L'Etat, en sa qualité de tutelle, pourra passer des commandes au Cerema, sans recourir à des marchés publics, contrairement aux collectivités. Pour autant, la mission du Cerema sera aussi de travailler sur des problématiques utiles aux collectivités, et de diffuser vers elles des recueils de bonnes pratiques et guides méthodologiques adaptés à leurs besoins.

M.-F.O : Quelles priorités vous fixez-vous, à court terme ?

• **B.L.** - Notre planning est dicté par le fait que le Cerema doit fonctionner au 1^{er} janvier prochain. Cela signifie onze entités à regrouper, une culture commune à construire et une nouvelle structure à mettre en place : assurer la paie, la facturation, le budget, l'informatique, ... tout en restant attentif à maintenir un bon niveau d'activité.

A court terme, plusieurs sujets sont centraux :

- Elaborer le programme 2014 de l'établissement où les onze services, les services centraux réfléchissent pour la première fois à l'échelle du Cerema.
- Etablir des partenariats forts et importants avec l'Ifsttar, le CSTB et d'autres établissements, ...
- Mettre en place les instances de gouvernance de l'établissement.
- Poursuivre et renforcer la dynamique des 8 CoTITA⁽³⁾ qui deviendront les comités d'orientation territoriaux du Cerema ; définir ce que nous pourrions faire mieux demain, quels nouveaux acteurs intégrer, ...
- Lancer, début 2014, le chantier de préparation du premier projet stratégique à cinq ans.



⁽³⁾CoTITA : Conférences techniques Interdépartementales des transports et de l'aménagement

■ Paris

Ouverture de la première tranche de la Petite ceinture (15^e)

La 1^{re} tranche de la Petite ceinture du 15^e arrondissement, d'une longueur de 900 m, est ouverte au public depuis le 24 août. Grâce aux aménagements réalisés par la Ville, les Parisiens découvrent des paysages inédits entre les rues Olivier de Serres et Desnouettes. La seconde tranche, jusqu'à la place Balard, sera livrée prochainement, la promenade totalisant alors 1,3 km. La Petite ceinture est une voie ferroviaire de 32 km autour de Paris, construite au Second empire (1852-1869) pour relier les gares parisiennes. Le tronçon d'Auteuil à Ivry, inauguré le 25 février 1867, desservait notamment les usines de Citroën de Grenelle (aujourd'hui le parc André Citroën) et les ateliers du métro de Vaugirard (actuellement parc Georges-Brassens) jusqu'en 1979. Depuis la fermeture de la ligne, le site est devenu un havre de biodiversité avec une végétation qui a petit à petit recouvert les ouvrages ferroviaires, créant ainsi des habitats favorables à la petite faune. C'est cet environnement singulier alliant histoire ferroviaire et nature que l'aménagement paysager du site a mis en valeur tout en offrant de nouvelles perspectives visuelles sur la ville.

■ Ile-de-France

Plus de 100 000 abonnements depuis le lancement d'Autolib'

Autolib' enregistre un nouveau record : 100 000 badges ont été activés depuis son lancement par la Ville de Paris, le 5 décembre 2011.

Ce chiffre confirme le succès de cette citadine 100 % électrique qui fait désormais pleinement partie du paysage parisien.

- Plus de 2,7 millions d'autolib' ont été loués depuis l'ouverture de ce nouveau service.
- Les pics de location ont lieu le week-end avec plus de 9 000 locations et le soir après 20 h.
- Les 833 stations se répartissent sur le territoire des 53 communes adhérentes, et les villes de Saint-Cloud et d'Engien-les-Bains devraient prochainement rejoindre le syndicat mixte.

Avec un abonnement annuel de 120 euros et une tarification à l'usage de 5,5 euros la demi-heure, Autolib' est accessible à tous les détenteurs d'un permis de conduire dès l'âge de 18 ans. Autolib' s'inscrit dans le cadre de la politique de déplacement développée par la Ville de Paris depuis 2001, qui vise à permettre à chacun de disposer d'un moyen de transport adapté à ses besoins.

Bloomberg Philanthropies lance le Mayors Challenge 2013-2014 en Europe

Ce concours appelle les villes européennes à développer et à partager, à l'échelle internationale, des solutions innovantes aux problèmes des collectivités. En France, plus de 40 villes sont éligibles à recevoir 9 millions d'euros en fonds flexibles.

Michael R. Bloomberg, maire de New York, a annoncé le lancement par sa fondation Bloomberg Philanthropies du *Mayors Challenge* (Défi des maires) 2013-2014, un concours appelant les villes européennes à soumettre des idées innovantes pour résoudre des problèmes majeurs et améliorer la vie urbaine. Ces idées seront par la suite diffusées auprès d'autres villes. Inspiré de l'édition originale du concours qui a rencontré un grand succès aux Etats-Unis, le *Mayors Challenge* versera 5 millions d'euros à la ville qui remportera le premier prix et 1 million d'euros aux quatre autres villes ayant soumis les idées les plus innovantes et les plus reproductibles.

« *Les villes repensent leur avenir dans de nombreux domaines et le Mayors Challenge a pour but de les aider à concrétiser et à diffuser largement leurs idées* », a déclaré Michael R. Bloomberg.

Destiné aux villes de plus de 100 000 habitants

Le concours invite les responsables des villes européennes de plus de 100 000 habitants à soumettre leur idée la plus innovante. Les idées proposées doivent porter sur les thèmes suivants : résolution de problèmes critiques, amélioration des services proposés aux habitants, réalisation d'économies de gestion significatives et/ou renforcement de la collaboration avec le public. Près de 600 villes en Europe peuvent soumettre leur candidature.

Les villes doivent être situées dans l'un des Etats membres de l'Union européenne ou dans l'un des pays d'Europe associés au 7^e programme-cadre de recherche et de développement (PCRD).

Trois grandes associations européennes vont apporter leur soutien au *Mayors Challenge* :

- *Eurocities*, le réseau de grandes villes européennes, interviendra comme partenaire d'engagement urbain. *Eurocities* réunit les gouvernements locaux des plus grandes villes européennes et de villes partenaires qui regroupent 130 millions de citoyens dans 35 pays.
- *LSE Cities*, centre international basé à la *London School of Economics (LES) and Political Science*, interviendra comme partenaire de recherche.
- *Nesta*, l'agence de l'innovation britannique, interviendra comme partenaire de mise en œuvre.

Le calendrier

- Les villes doivent envoyer leur demande d'inscription avant le 11 novembre 2013.
- Les villes doivent soumettre leur candidature avant le 31 janvier 2014.
- Les noms des 20 finalistes seront annoncés au printemps. En mai, les équipes de chacune des villes élues participeront au Bloomberg Ideas Camp, un séminaire de deux jours durant lequel les meilleurs experts en matière de politique, de programmes et d'innovation les aideront à étayer et à affiner leurs idées pour leur assurer un impact optimal.

- Les finalistes devront soumettre leurs candidatures révisées avant le milieu de l'été.
- Les noms des gagnants seront annoncés à l'automne prochain. Outre les sommes versées, les villes gagnantes recevront un trophée personnalisé créé par le designer de renommée mondiale Olafur Eliasson.

Les gagnants seront sélectionnés selon les critères suivants : présentation de l'idée, potentiel d'impact, planning de mise en œuvre et potentiel de diffusion dans d'autres villes. Pour l'aider à élire les villes gagnantes, *Bloomberg Philanthropies* s'appuiera sur un comité de sélection indépendant composé d'experts européens en innovation et politique urbaine. Un aspect essentiel du *Mayors Challenge* est de permettre aux responsables locaux de traiter le problème prioritaire de leur choix.

Plus de 300 villes américaines ont participé à la 1^{re} édition du *Mayors Challenge* qui a eu lieu en 2012 aux Etats-Unis, avec des candidatures traitant de thèmes variés. Providence (Rhode Island) a remporté le Grand Prix de l'Innovation *Mayors Challenge* et une somme de 5 millions de dollars pour la mise en œuvre de son projet novateur d'éducation précoce.

www.bloomberg.org

Macif Baromètre de la mobilité durable en 2013

La Macif présente les résultats de la 7^e vague de son baromètre de la mobilité durable.

Principal enseignement : les Français utilisent de plus en plus les moyens traditionnels de déplacements (marche à pied, transports publics et/ou vélo), d'une part pour éviter l'utilisation de leurs véhicules personnels, et d'autre part, pour faire des économies. Bien que les nouveaux modes de déplacements alternatifs (autopartage, covoiturage, ...) soient mieux connus, les Français sont moins disposés, cette année, à bousculer leurs habitudes de déplacements en voiture. La priorité est donnée au partage de la voirie entre piétons, voitures et transports collectifs, mais également au développement de structures de déplacements alternatifs, surtout dans les zones rurales.

- Près de 9 Français sur 10 déclarent avoir adopté une conduite économique et responsable (89 %) et 39 % d'entre eux essaient de rentabiliser son coût au maximum en utilisant des modes de déplacements alternatifs (covoiturage, autopartage, vélos, etc.).
- Un engouement de plus en plus fort pour les solutions traditionnelles de déplacements : la marche à pied est pratiquée par 43 % des Français, suivi des transports publics à 27 % et des modes individuels non polluants, comme le vélo, le roller à 18 %.
- Déjà un tiers des Français pratiquent ou utilisent un mode de déplacement alternatif. Le covoiturage reste en tête des pratiques à 21 % (- 5 points en 2012).
- Les Français sont moins enclins à changer leurs habitudes de déplacements : 64 % des répondants déclarent n'avoir pas d'autres solutions que d'utiliser leur voiture (+ 2 points vs 2012).

Accessibilité Échéance compromise en 2015

Le Premier ministre, Jean-Marc Ayrault, a présidé le Comité interministériel du Handicap (CIH). Créé en 2009 pour renforcer le pilotage interministériel de la politique du handicap, il n'avait jamais été réuni, au-delà de sa séance d'installation.

Sous l'impulsion et la coordination de Marisol Touraine, ministre des Affaires sociales, et de Marie-Arlette Carloti, ministre déléguée en charge des Personnes handicapées, une feuille de route gouvernementale a été dessinée autour de cinq grands axes : la jeunesse, l'emploi, l'accessibilité, l'accompagnement et la gouvernance de la politique du handicap, avec un objectif : relever le défi de l'égalité.

Le développement de l'accessibilité universelle est affirmé comme une priorité gouvernementale. L'accessibilité du cadre bâti, de la voirie et des transports souffre d'un important retard qui compromet l'échéance de 2015. L'accessibilité reste pourtant la condition *sine qua non* d'une société plus égalitaire. Le gouvernement a donc pris des décisions à la mesure de l'enjeu : mise en place d'agendas d'accessibilité programmée par voie d'ordonnance, mobilisation des fonds de la Caisse des dépôts et des consignations (CDC) et de Bpifrance, recrutement de 1 000 ambassadeurs de l'accessibilité. Une concertation entre tous les acteurs concernés va être engagée dès le mois d'octobre pour mobiliser de façon volontariste et pragmatique autour de l'objectif de mise en accessibilité, en s'appuyant sur les préconisations du rapport de la sénatrice Claire-Lise Campion.

Un premier bilan de cette feuille de route gouvernementale sera présenté à l'occasion de la conférence nationale du Handicap qui se réunira en 2014.

Un sujet prioritaire

L'Association des paralysés de France (APF) attendait avec impatience la tenue du Comité interministériel du handicap (CIH). L'APF espérait des arbitrages précis et des mesures fortes, à mettre en place immédiatement, afin de respecter l'échéance d'accessibilité au 1^{er} janvier 2015.

En effet, un sondage Mediaprism pour l'APF montre que 97 % des Français considèrent que l'accessibilité est un sujet prioritaire ou important et que 77 % d'entre eux estiment que la France est en retard sur ce sujet. Seuls 44 % des Français considèrent que les pouvoirs publics prennent bien en compte cette problématique.

58 % des Français ont déjà rencontré des difficultés d'accès aux transports en commun, 52 % aux commerces et 50 % aux lieux publics. Pour les Français, les plus gênées sont les personnes en situation de handicap (96 %), les personnes âgées (76 %) ou avec de jeunes enfants (75 %).

67 % des Français s'accordent sur le fait que les trottoirs larges manquent au sein de leur ville.

Seuls 47 % estiment que les mesures visant à faciliter la vie des personnes en situation de handicap sont « bien respectées » (dont 6 % « très bien respectées »). Cette difficulté à se prononcer sur le respect des mesures peut s'expliquer par une méconnaissance du sujet : seuls 64 % des Français ont entendu parler de la loi « handicap » de 2005.

► RGRA 911, avril-mai 2013

Remise du rapport sur les territoires numériques de la France de demain

Claudy Lebreton, président de l'Assemblée des départements de France (ADF) et président du département des Côtes d'Armor, a remis le 18 septembre à Cécile Duflot, ministre de l'Égalité des territoires, le rapport qu'elle lui a confié début 2013 sur « les territoires numériques de la France de demain ».

À l'issue de 9 mois de réflexions, de lectures, d'écoute d'experts, de chefs d'entreprise, de scientifiques, et d'acteurs des territoires au premier rang desquels les élus, Claudy Lebreton met en perspective dans son rapport les nouveaux enjeux du numérique, ceux des usages, de la culture et des pratiques numériques.

Parmi les 22 propositions déclinées, figurent notamment la promotion à l'échelle des bassins de vie, de la culture, des pratiques et des services numériques, la territorialisation de l'e-santé, le développement de mobilités encore plus intelligentes, ou encore le développement massif du télétravail. Pour Claudy Lebreton, ces recommandations « illustrent particulièrement la nécessité de donner un cadre souple pour faire émerger, enfin, une société actrice et non sujet de cette révolution en marche ». Il propose de « coordonner dans la proximité » et préconise notamment des dispositifs pour que les collectivités ainsi que tous les acteurs économiques et sociaux des territoires mutualisent leurs moyens « pour que la France des territoires ne se fragmente pas davantage et ne se fracasse pas sous l'effet d'inégalités croissantes et d'évolutions mal comprises ». Ces actions engagées au plus près des territoires devraient évidemment être complétées par une vision nationale caractérisée, par exemple, par la création d'un Observatoire national de la culture, des pratiques et des mutations sociales liées au numérique.

Les propositions que contient le rapport serviront d'orientation pour la politique numérique portée par le ministère, notamment à l'occasion de la loi de mobilisation des régions pour la croissance et l'emploi, et la loi promotion de l'égalité des territoires.

Lire le rapport sur <http://fr.scribd.com/doc/169067506/Rapport-C-Lebreton-Final>

■ Lyon

Le pont Raymond-Barre enfin posé sur le Rhône

Après 3 tentatives infructueuses depuis le mois de juillet 2013, le tablier central du pont Raymond-Barre a enfin été mis en place face au musée des Confluences. Mouvoir un tel ouvrage de 170 m et de 2 500 tonnes n'est pas une opération simple. Construit sur un banc d'assemblage pour l'entreprise Matière sur un quai du port Edouard Herriot, l'ouvrage métallique répond à la technique des arcs.



Le pont Raymond-Barre accueillera le T1

La structure est dédiée au prolongement de 2,3 km de la ligne 1 du tramway entre la Confluence et Gerland. Elle a été complétée par un second tronçon de 600 tonnes pour 50 m de long. La livraison de l'ouvrage complet est programmée en décembre 2013 pour une mise en service le 19 février 2014. T1 desservira 4 nouvelles stations entre Montrochet et Debourg, reliant Gerland à la Confluence. Courant décembre, la connexion sera possible avec la ligne B de métro direction Oullins.

■ IDRRIM

Les adhésions individuelles se développent

Depuis mars 2013, les collectivités, entreprises, sociétés d'ingénierie et ingénieurs qui le souhaitent peuvent désormais adhérer à l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (IDRRIM) à titre individuel, afin de contribuer aux actions de l'Institut et de bénéficier de ses travaux.

Dix conseils généraux et trois ingénieurs ont d'ores et déjà fait la démarche d'adhérer à l'IDRRIM à titre individuel, et huit autres départements devraient les rejoindre très prochainement.

www.idrrim.com

■ Conférence environnementale 2013 « L'indispensable ingénierie »

Les débats qui ont animé la conférence environnementale 2013 et les enjeux de la transition écologique ont confirmé le rôle majeur de l'ingénierie, du conseil et du numérique pour atteindre ces objectifs.

Le monde sera demain principalement scientifique et technique, à l'instar des métiers des entrepreneurs du conseil, de l'ingénierie, et du numérique, membres des 14 syndicats de CINOV.

D'où l'importance d'une ingénierie indépendante de qualité, accessible en tout point du territoire pour accompagner la transition énergétique.

Pour participer à la Conférence environnementale 2013

et relayer ses propositions, mais aussi ses attentes, la CGPME s'est appuyée sur les organisations professionnelles membres, dont les métiers en font des acteurs clé de la transition écologique.

C'est ainsi qu'elle a mandaté 3 membres de CINOV, la fédération patronale de 14 syndicats des métiers du conseil, de l'ingénierie et du numérique.

« La plus-value de CINOV dans ses apports aux débats tient à sa dimension globale et transversale.

Elle est au carrefour des questions et des solutions pour concevoir la transition énergétique grâce aux métiers complémentaires de la prestation intellectuelle qu'elle regroupe en son sein, avec ce souci constant de veille et de formation des salariés

de ses entreprises pour rester ces TPE-PME du savoir et de l'innovation, qui ont toujours un temps d'avance.

Toutefois, cette ingénierie privée et indépendante s'alerte du développement

d'une ingénierie publique mal contrôlée, qui met à mal le potentiel de recrutement et de performance économique que génèrent ces prestataires de services immatériels.

CINOV va se saisir de cette question dans l'intérêt que notre pays préserve et développe une ingénierie performante indispensable aux grands enjeux environnementaux et à la croissance économique ».

Sécurité aux passages à niveau 30 radars supplémentaires

A l'occasion de la 6^e journée nationale de sécurité routière aux passages à niveau, Frédéric Cuvillier, en lien avec Manuel Valls, a annoncé des mesures pour faire baisser le nombre d'accidents aux passages à niveau. Elles déboucheront notamment sur l'installation de 30 radars supplémentaires aux passages à niveau, qui s'ajouteront à la quarantaine de radars déjà implantés.

L'objectif est de renforcer les mesures de contrôle afin d'en finir avec les passages en force.

Objectif vigilance

Réseau Ferré de France (RFF) s'est engagé pour la 6^e année consécutive aux côtés de ses partenaires pour sensibiliser les citoyens, et plus particulièrement les usagers de la route, aux comportements à risque aux abords des passages à niveau.

98 % des accidents en France sont dus à des comportements routiers à risque. Fort de ce constat, RFF a décidé dès 2008 de mobiliser à travers une journée nationale les acteurs du ferroviaire et de la route, les collectivités locales, les forces de l'ordre, les préfetures, la SNCF, la Prévention routière et la Direction de la sécurité et de la circulation routières (DSCR) sur cet enjeu grand public. L'événement est devenu européen l'année suivante puis mondial sous la houlette de l'International Union Railways (IUC).

Pour cette Journée nationale de sécurité routière aux passages à niveau, RFF met en œuvre une campagne innovante « Objectif Vigilance », aux côtés de ses partenaires. Cette démarche de contribution implique à la fois les usagers de la route et les décideurs, pour sensibiliser le plus grand nombre aux dangers de non-respect des règles de sécurité routière aux passages à niveau.

“Pas possible d'être en retard à ma réunion”

INCONSCIENT

AU PASSAGE À NIVEAU, PROTÉGEONS NOS VIES

JOURNÉE MONDIALE DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE AUX PASSAGES À NIVEAU 2012

www.securite-passageaniveau.fr

www.securite-passageaniveau.fr

RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE RFF

La campagne d'information 2012

1 000 panneaux ont été déployés avec la Prévention routière. Des échanges directs avec les usagers de la route, menés par les agents de la sécurité routière et ferroviaire, ont eu lieu sur une dizaine de passages à niveau en France. L'objectif est de mesurer la perception réelle du danger à transgresser les règles de bonne conduite.

En complément des opérations menées sur des passages à niveau existants le 24 septembre, des passages à niveau fictifs ont été mis en place temporairement aux cœurs des villes, notamment à Chalon-sur-Saône. L'objectif est de partir à la rencontre de nouveaux publics et de les sensibiliser aux enjeux de sécurité.

Les échanges sur le terrain ont permis de tester de nouveaux messages de sécurité.

Evaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs

Avis de l'ANSES

L'Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF) a pris connaissance de l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) relatif à l'« *Evaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs* », et du communiqué de presse accompagnant la publication de cet avis.

L'ANSES, qui souligne les progrès réalisés au cours des vingt dernières années, fait des recommandations portant principalement sur la réduction des expositions des travailleurs aux émissions de liants bitumineux. Ces recommandations confortent les actions engagées par la Profession, qu'il s'agisse de la réduction et du captage des fumées émises, ou du port des équipements de protection individuelle.

Concernant d'éventuels effets cancérigènes des bitumes, l'ANSES reprend les conclusions du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), qui n'établit pas de lien avéré entre cancer et applications routières du bitume. L'ANSES note par ailleurs l'impossibilité de conclure définitivement quant aux risques de développer un cancer cutané chez les travailleurs exposés aux émissions de bitume, et invite au développement d'actions de recherche sur cette question.

L'ANSES recommande également une harmonisation au niveau européen des classifications des bitumes, et encourage, parallèlement à la réduction des expositions, des actions améliorant le suivi des travailleurs, à l'occasion de la surveillance médicale régulière notamment.

L'USIRF, qui a fourni à l'ANSES toutes informations demandées dans le cadre de son travail d'expertise, contribuera activement, en liaison avec la direction générale du Travail, la Caisse nationale d'assurance maladie (CNAM), l'INRS, l'OPP-BTP et les représentants de la médecine du travail, à la mise en œuvre effective de l'ensemble des recommandations de l'ANSES, en particulier celles relatives aux opérations de recyclage et de rabotage des revêtements routiers.

Vivapolis, la marque France de la « ville durable » à l'international

Les marchés du développement urbain sont en forte croissance à l'international, avec un potentiel de progression estimé à 50 milliards d'euros d'ici à 2017. Dans le secteur de la ville durable, la France possède des champions dans toutes les filières - eau, air, déchets, mobilité, efficacité énergétique - et sur l'ensemble des métiers, de l'architecture à l'industrie, en passant par l'ingénierie, les services, ...

Avec Vivapolis, la France se dote d'une véritable vitrine de l'excellence de cette offre à l'international. Cette marque, qui fédère les acteurs français de la ville durable - grands groupes et PME - permet aux entreprises de se présenter groupées sur les marchés étrangers et dans les salons internationaux, facteur indiscutable de réussite à l'export.

Vivapolis, c'est aussi un site Internet www.vivapolis.fr, disponible en français et en anglais, et destiné aux décideurs publics et privés du monde entier. Il répertorie les entreprises françaises de la ville durable - 80 actuellement avec un objectif d'au moins 200 à terme - et présente leur savoir-faire à travers des réalisations concrètes en France ou à l'étranger ; événements internationaux où l'offre française sera présente, contacts pour les entreprises qui souhaitent rejoindre cette démarche, liste des partenaires complètent les informations disponibles sur le site.

Pour Nicole Bricq, ministre du Commerce extérieur, « la naissance de cette marque et de ce site vitrine, est le fruit d'un travail exemplaire entre les entreprises, les groupements professionnels et les pouvoirs publics. Tous n'ont qu'un seul objectif : faire gagner la marque France à l'international. Avec Vivapolis, l'offre française va gagner en visibilité et en lisibilité. Des pays comme la Suède ont déjà adopté cette démarche fédératrice avec succès et il est primordial que nous regroupions toutes nos forces afin que nos entreprises tirent leur épingle du jeu dans la bataille du commerce mondial. Le « Mieux vivre en ville » est un secteur prioritaire à l'export et Vivapolis va, j'en suis sûre, nous permettre de gagner des marchés ».

L'avis d'Egis, acteur français de la ville durable

Activement engagé dans l'exportation du savoir-faire de l'ingénierie française et de la conception de ville durable, Egis se réjouit de la création d'une marque France pour la ville durable à l'international. Grâce à Vivapolis, le groupe et ses partenaires privés et publics vont unir leurs forces sur un marché international très concurrentiel. Les récents succès d'Egis dans ce domaine et le lancement du nouveau label français confortent le groupe dans sa stratégie.

Tenant de répondre au formidable défi que représente la croissance démographique à l'échelle mondiale, Egis a créé en 2012 *My city by Egis*, une « business line » qui porte les valeurs fortes sur lesquelles se fonde sa vision de la ville. Placer les citoyens au cœur de la démarche en est une.

« Notre ambition n'est pas de concevoir une ville générique mais de dessiner l'espace public pour que chacun puisse y trouver la qualité de vie qu'il recherche », explique Jean-Michel Ristori, co-directeur de *My City by Egis* avec Krishna Venkata Nistala. « Et ça change tout ! Parce qu'on ne vit pas de la même façon dans un pays chaud que dans un pays froid, qu'on n'y a pas les mêmes loisirs, les

mêmes coutumes et habitudes de vie, les mêmes références artistiques ou culturelles, les mêmes modes de vie, le même temps libre... ».

Pour faire connaître et rendre visible sa démarche, Egis avait besoin d'un cadre.

Avec Vivapolis, le groupe va aller encore plus loin dans la mise en valeur et l'exportation de l'ensemble de ses expertises.

A14 Travaux de réfection

Les équipes d'EJL Les Mureaux, Viafrance Normandie Seine-Maritime et Emulithe ont réalisé la réfection de 17 km de voies de l'A14 entre La Défense (92) et Orgeval (78), du 28 juillet au 9 août dernier. Le chantier a été mené pour le compte de Sanef qui, pour la première fois, a accepté de fermer complètement une autoroute durant plus d'une semaine afin de réaliser les travaux.

La réfection de ce tronçon comprenait notamment le rabotage, la mise en œuvre de 16 000 tonnes d'enrobés (soit une moyenne de 60 semi-remorques par jour) et le percolage des bandes d'arrêt d'urgence avec un coulis de ciment (pour répondre aux directives européennes sur les tunnels).



Pendant plus d'une semaine, l'A14 a été fermée

Plusieurs contraintes ont dû être intégrées dans le phasage des travaux comme le délai très court de réalisation, qui a nécessité une organisation millimétrée 24h/24, un tracé constitué pour moitié de tunnels et de ponts et la gestion de la co-activité.

Priorité numéro 1 d'Eurovia, la prévention des risques a fait l'objet d'une attention particulière tout au long des deux semaines de chantier avec, par exemple, une sensibilisation systématique aux consignes de sécurité pour les équipes présentes et les nouveaux arrivants.

■ Paris

L'avenue de Clichy, 1^{er} axe urbain à 30 km/h

A la suite du réaménagement de la place et du boulevard de Clichy en 2010, l'avenue de Clichy a dévoilé son nouveau visage. Outre un espace public embelli et du mobilier urbain rénové, cet axe majeur est la première avenue parisienne limitée à 30 km/h. Empruntée chaque jour par 25 000 véhicules, près de 600 vélos et 1 500 piétons, l'avenue de Clichy s'étend de la place de Clichy jusqu'au métro La Fourche.

Si la place et le boulevard de Clichy ont déjà été rénovés en 2010, cette avenue manquait à l'appel. Après une concertation, à laquelle de nombreux Parisiens ont participé, quelques objectifs avaient été dessinés : plus de confort et de sécurité pour les piétons, une circulation des bus plus fluide, un meilleur respect de la réglementation, des livraisons mieux organisées, une rénovation des trottoirs, de la chaussée ainsi que du mobilier urbain.

Les travaux se sont ensuite déroulés en 3 phases, de janvier à août 2013, sous la surveillance d'un comité de suivi, composé d'élus des deux arrondissements (17^e et 18^e), d'associations et de représentants des commerçants.

■ Paris, « capitale française de la biodiversité »

La Ville de Paris remporte le premier prix du concours « Capitale française de la biodiversité » dans la catégorie « Grandes Villes ».

Organisé par Natureparif, ce concours national récompense l'engagement des collectivités locales en faveur de la préservation de l'eau et de la biodiversité. Le jury a salué les actions menées par la Ville et sa régie Eau de Paris, et conduites par Fabienne Giboudeaux, adjointe chargée des espaces verts et de la biodiversité, et Anne Le Strat, adjointe chargée de l'eau, de l'assainissement et de la gestion des canaux, afin de protéger les ressources en eau et de préserver la biodiversité, dans les domaines suivants :

- la protection de l'eau,
- la valorisation de la trame verte et bleue,
- le renforcement de la trame des milieux aquatiques à Paris : créer un réseau de mares et milieux humides.

■ Agglomération lilloise

Réduction de la vitesse maximale autorisée

Depuis le 9 septembre 2013, l'ensemble des axes convergents vers l'agglomération lilloise (A1, A22, A23, A25, A27, RN 41, RN 227 et RN 356) auparavant limités à 90 km/h pour l'ensemble des véhicules sont réglementés :

- La vitesse maximale des véhicules, véhicules articulés, trains doubles ou ensembles de véhicules dont le poids total autorisé en charge ou le poids total roulant autorisé excède 3,5 tonnes, est désormais limitée à 80 km/h.
- La vitesse maximale des véhicules inférieurs à 3,5 tonnes reste maintenue à 90 km/h.

Cette mesure, inscrite au Plan de déplacements urbains (PDU) 2010-2020, vise à introduire un différentiel de vitesses entre véhicules légers (VL) et poids lourds (PL), notamment pour des raisons de sécurité routière ; après avoir homogénéisé les 90 km/h en cœur d'agglomération et 110 km/h en approche depuis les autoroutes extérieures pour tous les véhicules. Ensuite, dans le cadre du Plan de protection de l'atmosphère (PPA), cette mesure a également été retenue car le régime « optimal » PL se situerait aux alentours de 80 km/h (plutôt que 70 km/h pour les VL). Elle est effectivement bénéfique en matière de bruit et d'émissions de polluants.

Le permis de conduire sécurisé est disponible

Depuis le 16 septembre, un nouveau permis de conduire sécurisé au format carte de crédit est mis en circulation, en application de la 3^e directive du Conseil européen du 20 décembre 2006 qui prescrit la mise en place d'un permis de conduire commun à tous les Etats membres ainsi que l'instauration de nouvelles catégories de permis.

Le nouveau permis contient une puce électronique et une bande MRZ qui contribueront à mieux lutter contre la fraude. La puce contient les seules et uniques informations visibles sur le titre.



Le permis de conduire sécurisé

La France a choisi la période de validité maximale du titre, la plus favorable aux usagers, soit 15 ans pour les catégories A et B. Les permis de conduire des catégories dites « lourdes » (C et D) ou soumis à un avis médical devront être renouvelés tous les 5 ans. Il s'agit d'un simple renouvellement administratif, sans visite médicale ou examen pratique associé. Il servira à mettre à jour l'adresse de l'utilisateur et sa photographie d'identité.

Seuls les permis délivrés entre le 19 janvier 2013 et le 16 septembre 2013 seront échangés en 2014.

La reprise des titres à l'ancien format n'interviendra pas avant 2015 et se poursuivra jusqu'au 19 janvier 2033 selon des modalités en cours de définition dans le souci de faciliter la vie des usagers.

Les titulaires de permis de conduire seront informés par leur préfecture des modalités d'échange le moment venu.

Il est demandé aux usagers de ne pas se déplacer en préfecture pour demander un nouveau permis de conduire. Tous les permis de conduire délivrés avant le 19 janvier 2013 sont valables jusqu'au 19 janvier 2033.

Avignon Consultation publique sur le projet de tramway

Le projet de tramway du Grand Avignon avance dans la concertation.

Après avoir reçu tout début septembre un avis favorable par la commission d'enquête chargée de conduire l'enquête publique, le tramway a fait l'objet d'une grande consultation publique. Le Grand Avignon, maître d'ouvrage du projet, a en effet décidé d'inviter les habitants et futurs usagers du tramway à choisir le look de leur tram.

Suite à la consultation menée en 2012-2013 pour choisir le constructeur du matériel roulant, le Grand Avignon a retenu l'entreprise française Alstom.

Ce sont donc 24 rames du Citadis Compact qui circuleront dès 2016 sur les deux lignes de tramway.

Plusieurs propositions ayant été soumises par Alstom, le Grand Avignon a souhaité solliciter l'avis des habitants et des futurs usagers du tram pour choisir le look qui sera déployé.

12 propositions ont été soumises au public, combinant trois formes graphiques, déclinées chacune en 4 couleurs.

Le prochain rendez-vous sera en décembre pour découvrir le tramway choisi en grandeur nature au cœur de la ville.

Setec remporte le prix mondial d'ingénierie

Setec, ingénierie française pluridisciplinaire de la construction, vient de décrocher le prix mondial d'ingénierie, pour la maîtrise d'œuvre du Tunnel sous la Manche, officiellement nommé « Le projet majeur de génie civil des 100 dernières années » « Major Civil Engineering Project of the Last 100 Years » par le jury international de la Fédération internationale des ingénieurs-conseil (FIDIC). Le prix remis une fois tous les 100 ans par les ingénieurs et pouvoirs publics du monde entier, a été rapporté à Paris par Michel Lévy, ingénieur du projet à l'époque et toujours en activité.



Le tunnel sous la Manche, le projet des 100 dernières années

Parmi plus de 150 candidatures promouvant les constructions humaines les plus emblématiques de ces 100 dernières années, et autant de sociétés d'ingénierie, le dossier de candidature « The Channel Tunnel » par Setec, Atkins UK et Eurotunnel constitué à l'automne 2012, remporte le prix à l'unanimité après une année de délibération internationale.

« Cet ouvrage est le fruit de l'imagination et des efforts de nombre des grands ingénieurs de la Setec, menés par Henri Grimond, l'un de ses deux fondateurs, qui y aura consacré 30 ans de sa vie. Il a nourri le travail de générations de collaborateurs et nous bénéficions encore aujourd'hui de son retour d'expérience. Le Tunnel sous la Manche a alimenté une vision toute particulière de l'ingénierie qui rend possible ce qui ne le paraît pas de prime abord » a déclaré Gérard Massin, président-directeur général du Groupe Setec.

La politique en matière d'infrastructures de transport

Lors du conseil des ministres du 25 septembre 2013, Frédéric Cuvillier a présenté une communication sur la politique en matière d'infrastructures de transport. Au cours de l'année écoulée, une nouvelle stratégie responsable des infrastructures, capable de répondre de manière concrète aux besoins dans des territoires et aux attentes des Français, a été définie.

La commission « Mobilité 21 » a ainsi été chargée d'examiner les 245 milliards d'euros d'investissements figurant dans le projet de schéma national des infrastructures de transports (SNIT) élaboré en 2011. Ses conclusions ont précisé, en juillet dernier, les bases de cette nouvelle politique des transports qui sera mise en œuvre au cours des prochaines années [1]. D'abord, la priorité doit être donnée à l'amélioration durable des réseaux existants : routiers, ferroviaires et fluviaux.

Pour traduire concrètement cette priorité, en premier lieu, un grand plan de modernisation du réseau ferroviaire, après des années de sous-investissement chronique, a été établi. Il poursuivra l'effort de renouvellement et de modernisation du réseau, actuellement de 2,5 milliards d'euros par an.

En second lieu, dans le cadre de l'élaboration de la prochaine génération de contrats de plan Etat-Régions qui vient d'être lancée, les opérations prioritaires de désenclavement, de décongestion, de modernisation des réseaux seront définies de manière partenariale avec les collectivités pour qu'un programme d'opérations ayant reçu l'accord des collectivités territoriales concernées soit disponible à la fin de l'année.

Parallèlement, les grands projets se poursuivent dans le cadre d'une programmation réaliste et supportable d'un point de vue financier. Ainsi, les 4 chantiers de LGV lancés en 2010 et 2011, représentant 15 milliards d'euros d'investissement et 650 km de lignes nouvelles, iront à leur terme.

En outre, le gouvernement a retenu comme référence le scénario le plus ambitieux de la Commission « Mobilité 21 », qui prévoit l'engagement de 30 milliards d'euros de grands projets d'ici à 2030.

Au cours de l'année écoulée, plusieurs grands chantiers ont été lancés comme le doublement de l'A9 à Montpellier ou le programme d'aménagement de la Route Centre-Europe-Atlantique (RCEA) dans l'Allier et la Saône-et-Loire. Le contrat de partenariat pour la réalisation de la rocade L2 de Marseille sera signé dans les toutes prochaines semaines.

Enfin, les priorités nationales seront actualisées tous les cinq ans pour tenir compte des nouvelles dynamiques territoriales, comme de la saturation du réseau existant, et tirer les conséquences de la reprise de la croissance. D'ici là, les études et procédures des projets d'infrastructures nouvelles retenus par la Commission « Mobilité 21 » seront poursuivies. L'objectif est que ces projets soient prêts à être lancés, dès que leur financement aura été stabilisé.

► [1] *RGRA 913, juillet-août 2013, pp. 5-7*

Ecotaxe poids lourds Report de l'entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2014

Bernard Cazeneuve, ministre du Budget, et Frédéric Cuvillier, ministre des Transports, ont annoncé le report de l'entrée en vigueur de la taxe poids lourds au 1^{er} janvier 2014.

Le gouvernement a achevé les vérifications visant à s'assurer du caractère pleinement opérationnel du système livré par son partenaire ECOMOUV', chargé de la conception du dispositif destiné à la collecte, à l'information et au contrôle automatique de l'écotaxe poids lourds. Pour sa collecte, les véhicules seront équipés de boîtiers électroniques dotés d'un système de localisation par satellite.

Le cadre réglementaire relatif à la mise en œuvre de l'écotaxe ayant été complètement défini, l'enregistrement des véhicules assujettis, étape obligatoire pour chaque entreprise concernée, a commencé le 19 juillet dernier. Une phase d'essai du dispositif à l'échelle nationale, sur la base du volontariat et sans perception de la taxe, a démarré le 29 juillet.

Restait à s'assurer de la parfaite fiabilité du dispositif technique livré par ECOMOUV'. Les vérifications effectuées l'été dernier par l'Etat ont révélé des dysfonctionnements persistants qui doivent impérativement être corrigés avant la mise en service du dispositif.

Dès lors, l'Etat n'a pas accepté de valider en l'état l'aptitude au bon fonctionnement du système et a demandé à son partenaire de livrer dans les meilleurs délais un dispositif corrigé, conformément au contrat de partenariat. L'Etat appliquera, au terme du processus, les dispositions contractuelles prévues en cas de retard dans la livraison finale.

Le gouvernement se trouve donc contraint de reporter l'entrée en vigueur de la taxe poids lourds au 1^{er} janvier 2014 au lieu du 1^{er} octobre 2013, afin de garantir une mise en œuvre entièrement sécurisée. Il souligne que les retards accumulés dans la mise en œuvre de l'écotaxe s'expliquent largement par le manque de préparation du dispositif et d'anticipation des difficultés sous le précédent gouvernement. Il rappelle qu'il a pour sa part pris les dispositions nécessaires à une mise en œuvre équilibrée et responsable de l'écotaxe en présentant au Parlement un mécanisme de majoration du prix de la prestation de transport routier de marchandises pour que les transporteurs repercutent sur leurs clients le coût de la taxe et de donnent ainsi un signal-prix significatif pour favoriser le report modal.

Ce dispositif a été adopté par le Parlement et validé par le Conseil constitutionnel.

■ Sécurité routière

Nouvelle-Calédonie

4 fois plus de tués qu'en métropole

Avec 24 décès depuis le début de l'année, les routes calédoniennes demeurent les plus dangereuses de France.

Le haut-commissariat de la République en Nouvelle-Calédonie a annoncé des résultats alarmants relatifs à la sécurité routière en 2012.

Par rapport à la Métropole, la Calédonie a enregistré un taux de mortalité (nombre de tués divisé par le nombre d'habitants)

près de 3,6 fois plus important.

L'analyse des chiffres du haut-commissariat comme ceux des forces de l'ordre souligne que l'accident « type » se déroule à bord

d'un véhicule léger le week-end entre 8 h et 16 h à l'extérieur

du Grand Nouméa. Il implique un conducteur âgé entre 25 et 44 ans, qui ne portait pas de ceinture, qui roulait à vive allure et sous l'emprise de l'alcool.

Le réseau autoroutier concédé toujours plus sûr

L'analyse annuelle des accidents mortels, publiée par l'Association des sociétés françaises d'autoroutes (ASFA), fait apparaître pour 2012 un niveau de sécurité jamais atteint sur le réseau autoroutier concédé.

A l'échelle des trois dernières décennies, la mortalité sur autoroute est en recul de 53 %, alors même que le nombre de kilomètres parcourus a été multiplié par 4,5. En 2012, le nombre de personnes tuées a diminué de 26,3 % par rapport à 2011 et les 143 décès accidentels enregistrés représentent moins de 4 % de l'accidentalité globale constatée sur l'ensemble des routes françaises.

Les autoroutes concédées présentent un niveau de sécurité cinq fois supérieur aux autres infrastructures routières. Pour la période 2008-2012,

il apparaît que les accidents mortels qui se produisent sur autoroute impliquent majoritairement des véhicules légers (VL)

(pour 69 % d'entre eux, contre 26 % de véhicules lourds et 5 % de deux-roues motorisés) et surviennent principalement de jour (pour 56 % d'entre eux, contre 39 % la nuit).

► *RGRA 912, juin 2013 :*

« *Objectif sécurité routière* »,

« *La sécurité sur les autoroutes en 2012* »

■ La BEI et Bpifrance se mobilisent pour les PME

BEI et Bpifrance opèrent une mobilisation sans précédent de ressources pour soutenir les PME innovantes en France. Tel est l'objectif du contrat de financement signé entre Bpifrance et le groupe Banque européenne d'investissement (BEI). Il fait suite à la convention signée par les deux institutions en juin dernier.

Conscient de l'enjeu majeur que représente le secteur de l'innovation en France et des besoins pressants des PME en ce domaine, le groupe BEI a mis à la disposition de Bpifrance une ligne de crédit de 750 millions d'euros et une enveloppe de garantie de 200 millions d'euros dans le cadre du mécanisme de garantie du Fonds européen d'investissement (FEI), filiale de la BEI spécialisée dans le financement des entreprises. L'intervention du FEI, qui relève de l'instrument de partage des risques *RSI* (*Risk Sharing Instrument*) soutenu par la Commission européenne, permettra très concrètement à Bpifrance de bénéficier d'une garantie de 40 % pour un total de prêts en faveur des entreprises innovantes. Ce recours au *RSI* augmentera sensiblement l'effet de levier des prêts de la BEI, tout en encourageant la prise de risques en faveur des PME innovantes.

Cet effort sans précédent du groupe BEI sera, en termes de volume, son intervention la plus importante en France en 2013. Le financement ciblé, est destiné aux PME de moins de 250 salariés et à des établissements de taille intermédiaire (ETI) de moins de 3 000 employés. Il interviendra notamment à un moment crucial pour les entreprises concernées, lors de la phase située entre la fin d'un projet de Recherche-Développement et le cycle d'exploitation, là où les financements sont particulièrement rares.

Eiffage Poursuite de la croissance des résultats au 1^{er} semestre

Le chiffre d'affaires consolidé du 1^{er} semestre 2013 s'établit à 6,5 milliards d'euros, en baisse de 1,3 % sur le semestre.

L'activité des métiers de Travaux, affectée par un 1^{er} trimestre en net repli, s'est redressée au 2^e trimestre et s'inscrit en baisse de 2,2 % sur le semestre. Dans la Construction, l'activité reste soutenue en Ile-de-France, mais est plus difficile en province. Le chiffre d'affaires marque ainsi un repli de 7,8 %. En Europe, l'activité est en nette reprise, au Benelux notamment.

Dans les Concessions, le chiffre d'affaires d'APRR croît de 1,9 % pour une augmentation du trafic de 0,2 %. Au total, les Concessions affichent une solide croissance de 3 % au semestre.

Les travaux publics en hausse en France

Le chiffre d'affaires d'Eiffage Travaux Publics s'établit à 1,806 milliard d'euros, en augmentation de 2,4 %.

En France, la société enregistre une hausse sensible de son chiffre d'affaires de 5,2 % à 1,522 milliard d'euros, grâce, notamment au chantier de la LGV Bretagne-Pays de la Loire (BPL), qui monte en puissance, conformément au planning.

En Europe, le chiffre d'affaires est de 213 millions, en recul de 17,1 %. En Allemagne, l'activité a été stable sur le 2^e trimestre tandis qu'elle se contracte à nouveau en Espagne, dans un contexte économique toujours très défavorable.

Hors d'Europe, l'activité réalisée au Sénégal progresse de 19,3 %.

Résultats

Le résultat opérationnel courant progresse de 3,8 % à 518 millions d'euros, portant la marge opérationnelle à 7,9 % contre 7,5 % au 1^{er} semestre 2012. Cette dernière se maintient à 1,6 % dans les Travaux, en dépit de la baisse du chiffre d'affaires affecté par des conditions climatiques beaucoup plus défavorables qu'au 1^{er} semestre 2012.

Dans la Construction, où, ponctuellement, la baisse des volumes est la plus marquée, la marge opérationnelle résiste bien (4,2 %). Elle se redresse dans les Travaux Publics (-2,2 % pour -2,7 % au 1^{er} semestre 2012).

518 M €

La marge opérationnelle des Concessions se maintient à un niveau élevé (41,2 %) grâce à la bonne tenue du trafic des concessions autoroutières et à la maîtrise des dépenses de fonctionnement. Ainsi, la croissance du résultat opérationnel courant, conjuguée à la baisse du coût de l'endettement net, a entraîné une hausse significative du résultat net semestriel de 13,7 %, à 58 millions d'euros.

Situation financière

L'endettement financier net s'établit à 13,2 milliards d'euros, pour 12,9 milliards au 30 juin 2012. Cette hausse, particulièrement prononcée cette année, s'explique par des échéances significatives de paiement des intérêts de la dette et des impôts de 610 millions d'euros (433 millions d'euros au 1^{er} semestre 2012) ainsi que par une augmentation saisonnière plus marquée du besoin en fonds de roulement de 639 millions d'euros (290 millions d'euros au 1^{er} semestre 2012). Le besoin en fonds de roulement reste néanmoins maîtrisé et en forte diminution sur 2 ans.

La dette financière nette est essentiellement logée dans les Concessions, sans recours sur Eiffage, à hauteur de 12,3 milliards d'euros. L'endettement financier net du holding et des branches travaux est de 911 millions d'euros.

Par ailleurs, le groupe a continué à diversifier ses sources de financement par la mise en place d'un programme de billets de trésorerie.

APRR a poursuivi le travail d'optimisation du coût de sa dette et a mis en place une tranche obligataire de 300 millions d'euros à échéance de 3 ans dans de bonnes conditions.

Perspectives 2013

Le carnet de commande s'élève à 12,5 milliards d'euros au 1^{er} juillet 2013, en hausse de 2,5 % par rapport au 1^{er} janvier 2013.

Avec près de 13 mois d'activité en carnet, Eiffage confirme sa prévision de chiffre d'affaires 2013 à 14,2 milliards d'euros. La reprise du trafic sur les autoroutes, le bon déroulement des grands projets en cours et les efforts menés dans l'amélioration de la productivité des chantiers doivent générer une progression des résultats en 2013.

Projet de loi de finances 17 milliards d'euros pour la transition écologique

Le projet de loi de finances (PLF) pour 2014 a été présenté en conseil des ministres.

Les moyens consolidés du ministère de l'Ecologie (MEDDE) et des établissements publics qui lui sont rattachés s'élèvent à 17 milliards d'euros, dont 7,2 milliards d'euros au titre de la mission « Ecologie, développement et mobilité durables » (hors pensions). Le programme d'investissements d'avenir (PIA) consacre par ailleurs 2,3 milliards d'euros aux transports de demain, à la ville et aux territoires durables, à l'innovation et aux projets industriels pour la transition écologique et énergétique, auxquels s'ajoutent 1,2 milliard d'euros dédiés à l'aéronautique.

Philippe Martin, ministre de l'Ecologie, a déclaré : « C'est un budget qui permet de maintenir un haut niveau d'intervention. L'amélioration des infrastructures du quotidien des Français, la préservation des milieux et la biodiversité, la transition énergétique, la protection des personnes et des biens dans les transports, en mer ou à l'égard des risques naturels et technologiques, figureront parmi nos priorités pour 2014 ». Opérateur clé de la transition énergétique, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) verra sa capacité d'engagement maintenue à son niveau de 2013, soit 590 millions d'euros, et bénéficiera du PIA à hauteur de 1,1 milliard d'euros.

Le ministère et ses établissements publics participent pleinement à l'effort de redressement des comptes publics, grâce à un prélèvement exceptionnel sur le fonds de roulement des agences de l'eau, la priorisation des projets de développement des infrastructures, la modération des taxes affectées aux opérateurs et l'équilibrage du bonus-malus automobile.

« Verdissement de la fiscalité »

Le PLF constitue le premier acte du verdissement de la fiscalité. Avec l'introduction d'une composante carbone dans la fiscalité énergétique au 1^{er} janvier 2015, le gouvernement tient l'engagement qu'il avait pris lors de la première Conférence environnementale. Philippe Martin a déclaré : « *Taxer moins le travail et davantage les émissions de CO₂ à niveau de prélèvements constants, nous fait entrer dans la fiscalité du XXI^e siècle* ».

Le PLF 2014 assure la traduction de l'ambition écologique de la France pour une croissance durable.

Il modifie la fiscalité existante pour introduire une « assiette carbone » au sein des taxes énergétiques. Il reprend en cela les orientations dégagées par le Comité pour la fiscalité écologique. Cette « part carbone » montera en charge progressivement en respectant l'engagement de stabilité des prélèvements obligatoires. Parallèlement, le texte propose la refonte du crédit d'impôt développement durable vers les rénovations énergétiques lourdes, présentant une meilleure efficacité. Enfin, plusieurs niches anti-écologiques sont remises en cause et l'assiette de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) est étendue à de nouveaux polluants de l'air.

La FNTP dénonce la baisse des crédits de l'AFITF

Suite à la présentation du PLF 2014, la Fédération nationale des Travaux publics (FNTP) est particulièrement inquiète de constater que dans le domaine des transports, les ressources de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (AFITF) vont de nouveau être réduites. Cette baisse ne sera pas compensée à due concurrence par le lancement de l'écotaxe poids lourds au 1^{er} janvier 2014 (déjà maintes fois reportée...), ni par la hausse de la redevance domaniale versée par les sociétés d'autoroute.

L'absence de compensation de la baisse des ressources de l'AFITF suscite beaucoup d'interrogations de la part de la FNTP sur la volonté du gouvernement d'avoir une réelle ambition en matière d'investissement dans les infrastructures de transports.

Ce désengagement de l'Etat apparaît comme un renoncement pour les entreprises de Travaux publics après la remise du « rapport Mobilité 21 » et les arbitrages rendus en juillet dernier par le Premier ministre, Jean-Marc Ayrault, où seule la construction de la LGV Bordeaux-Toulouse devrait être maintenue avant 2030. Rappelons qu'il avait alors été dit que ce scénario dit « favorable » serait financé par un budget constant de l'AFITF.

Marché de la construction en Europe 4 groupes français dans les 10 premiers

Deloitte publie la 10^e édition de son étude annuelle « *European Powers of Construction* » (EPOC), qui dresse un état des lieux du marché de la construction en Europe et présente le classement des principaux groupes cotés de ce secteur sur la base des comptes 2012.

Le rapport présente les performances de ces acteurs en matière de chiffre d'affaires, de capitalisation boursière, d'internationalisation, de diversification, d'endettement et de ratios financiers. Malgré un marché morose en Europe, on observe une bonne résistance des principaux acteurs du secteur grâce à une stratégie d'internationalisation et de diversification.

Le marché européen pâtit de la crise

Les effets de la crise économique et des politiques d'austérité en Europe pèsent significativement sur le secteur de la construction. Selon la Commission européenne, 2013 sera la 5^e année consécutive de baisse du secteur avec une diminution des investissements de l'ordre de 2,2 %. Sans surprise, l'Espagne, la Grèce, le Portugal sont particulièrement affectés avec une baisse conséquente de leur activité en 2012.

« *L'Allemagne et la France demeurent les marchés les plus dynamiques de l'Union européenne avec des investissements de l'ordre de 260 milliards d'euros. Toutefois, on estime que le volume de construction en 2013 dans l'Union européenne atteindra 1,27 trillion d'euros, soit le niveau le plus bas observé depuis le milieu des années 90* » commente Marc de Villartay, associé audit spécialiste de la construction chez Deloitte.

Les groupes français en tête du classement

Le chiffre d'affaires cumulé des cinquante plus grands groupes cotés a progressé de 7 % en 2012, tiré par les acteurs du Top 20. Ce Top 20 a vu sa capitalisation boursière augmenter de 6 % en 2012 ; toutefois, les marges opérationnelles ont continué à baisser et s'établissent désormais à 2,6 %, en diminution de 0,8 % par rapport à 2011.

Comme en 2011, Vinci reste leader du marché à la fois en termes de chiffre d'affaires et de capitalisation boursière. La France, avec quatre groupes parmi le Top10, reste en tête du classement par pays. Bouygues occupe la 3^e place, Eiffage SA la 6^e et Colas la 8^e.

■ Sécurité routière

Fin de l'impunité avec les Pays-Bas

Après l'Espagne en août dernier, la France et les Pays-Bas décident de mettre fin, au 15 septembre 2013, à l'impunité des conducteurs de véhicule immatriculé aux Pays-Bas qui seront flashés par des radars français. Les autorités françaises et néerlandaises ont décidé que les ressortissants néerlandais qui commettront des infractions routières en France seront poursuivis.

Depuis le déploiement des radars vitesse, en France, environ 21 % des infractions relevées (25 % en période estivale, jusqu'à 50 % dans les zones frontalières pendant cette même période) concernent des véhicules immatriculés à l'étranger, alors qu'ils ne représentent que 5 % du trafic.

En moyenne sur une année, près de 200 000 infractions constatées par les radars automatiques français concernent des véhicules immatriculés aux Pays-Bas.

Désormais, les conducteurs néerlandais flashés par les radars français seront poursuivis, dès lors qu'ils commettront des excès de vitesse ou des franchissements de feux rouges en France.

www.securite-routiere.gouv.fr

Nouvelle baisse de la mortalité en août 2013

En août 2013, 328 personnes ont perdu la vie sur les routes de France, ce qui représente une baisse de 3,3 % par rapport à août 2012.

4 316 accidents corporels ont été dénombrés, ce qui correspond à une réduction de 1,9 %. Toutefois, par rapport au mois d'août 2012, le nombre de personnes blessées augmente de 0,6 %. Le chiffre des hospitalisations est en hausse de 6,6 %.

La baisse de la mortalité constatée en août 2013 résulte de la diminution de celle des motocyclistes et, pour une moindre part, de celle des piétons. Elle est toutefois tempérée par une hausse chez les cyclistes.

■ LGV Rhin-Rhône

La proposition alternative de financement du CG 68

La proposition alternative de financement adressée par Charles Buttner, président du conseil général du Haut-Rhin (CG 68), à François Hollande en juillet a suscité l'intérêt du président de la République. Dans un courrier daté du 30 août dernier, envoyé à Charles Buttner, la présidence de la République indique que la faisabilité de l'option de financement avancée par le président du CG 68 méritait d'être étudiée. Cette mission a été confiée à Frédéric Cuivillier. Pour Charles Buttner, cet intérêt marqué par les plus hautes instances de l'Etat est une nouvelle encourageante. Elle démontre qu'aucune porte n'est aujourd'hui fermée et que la décision de reporter la réalisation *sine die* après 2030 (soit quasiment renoncer à l'achèvement de la LGV Rhin/Rhône) n'est en rien irréversible. Cela doit inciter tous les acteurs et les financeurs à travailler en étroite collaboration pour la recherche de solutions concrètes, élaborées en commun et qui permettraient de faire réinscrire, le moment venu, la LGV Rhin-Rhône dans les grands projets prioritaires. Il s'agit ainsi de poursuivre l'engagement indéfectible des élus alsaciens, francs-comtois, bourguignons qui depuis plus de 20 ans n'ont eu de cesse de discuter, de se concerter et de se mobiliser pour promouvoir sa réalisation.

■ Travaux publics

Amélioration en juillet

L'enquête mensuelle de conjoncture de la Fédération nationale des Travaux publics (FNTP) pour le mois de juillet a été publiée. A la faveur de conditions climatiques plus favorables, l'activité des Travaux publics s'améliore. Les travaux réalisés atteignent leur niveau le plus élevé de l'année. Cependant, ils sont inférieurs de 6,8 % à la moyenne d'un mois de juillet sur les dix dernières années. Depuis le début de l'année, le recul s'élève à 3,3 % comparé à la même période l'année précédente. Ce regain d'activité se traduit par une hausse des heures travaillées totales (ouvriers permanents et intérimaires) par rapport aux mois précédents. En cumul sur les sept premiers mois de l'année, elles sont néanmoins en retrait de 3,4 % par rapport à la même période en 2012. Après un début d'année difficile, le travail intérimaire reprend des couleurs depuis deux mois. Les marchés conclus en juillet retrouvent leur niveau d'il y a un an. Le manque de visibilité accroît cependant les tensions sur les marchés. Les prochains mois devraient être marqués par un ralentissement de la commande publique compte tenu de l'approche des élections municipales.

Colas

Stabilité au 1^{er} semestre 2013

Malgré des conditions climatiques défavorables, le chiffre d'affaires du 1^{er} semestre est quasiment stable et s'élève à 5,6 milliards d'euros, en baisse de 1 % (+ 1 % en France, - 3 % à l'international), sans effet de change ni de périmètre significatif. L'activité routière a été pénalisée par des conditions climatiques défavorables en France métropolitaine (chiffre d'affaires en recul de 2 %), en Europe (- 7 %), notamment dans certains pays du nord (Belgique et Irlande), ainsi qu'en Amérique du Nord (- 10 %), en particulier au Canada. Dans le reste du monde, le chiffre d'affaires est en progression de 2 % par rapport à la même période de 2012. La croissance de l'activité dans les départements d'Outre-mer et en Asie/Australie compense la baisse en Afrique et dans l'Océan indien.

Progression de 32 % dans le ferroviaire

Au 1^{er} semestre 2013, dans les activités de spécialités, le chiffre d'affaires est en augmentation de 11 % et traduit des situations différentes entre les métiers : croissance de 32 % du ferroviaire et de 16 % de la vente de produits raffinés liée à l'achèvement, début 2013, au 1^{er} janvier 2013, du contrat de processing avec Total (qui commercialisait 40 % des produits de SRD) ; activité proche du niveau du 1^{er} semestre 2012 dans l'étanchéité et le pipeline, baisse de l'activité sécurité signalisation routière (- 7 %).



Renouvellement de la voie ferrée entre Saint-Hilaire et Hagondange, avec remplacement du ballast, des rails et des traverses, au moyen de la Suite Rapide

Rentabilité en recul

Au 30 juin 2013, le résultat opérationnel ressort à - 76 millions d'euros, contre - 34 millions d'euros au 30 juin 2012. Le résultat opérationnel est en baisse de 42 millions d'euros. Ce recul reflète principalement des conditions climatiques défavorables en France, en Europe et en Amérique du Nord par rapport à celles du 1^{er} semestre 2012. Le résultat net part du groupe, à - 32 millions d'euros, est en diminution de 13 millions d'euros par rapport au 1^{er} semestre 2012. L'endettement financier net au 30 juin 2013 ressort à 1,142 milliard d'euros. Son évolution par rapport au 31 décembre 2012 (endettement financier net de 170 millions d'euros) traduit la saisonnalité habituelle de l'activité. Il se compare à un endettement financier net de 1,074 milliard d'euros à fin juin 2012. L'évolution sur un an s'explique principalement par les besoins supplémentaires de fonds de roulement de l'activité de raffinage en France, opérée à 100 % depuis le 1^{er} janvier 2013.

Bonne visibilité sur le 2nd semestre 2013

Le carnet de commandes à fin juin 2013 reste à un niveau élevé à 7,6 milliards d'euros (- 4 % par rapport à fin juin 2012, + 5 % par rapport à fin juin 2011), dont 4 milliards d'euros en métropole (- 2 %) et 3,6 milliards d'euros à l'international et outre-mer (- 5 %). Il n'inclut pas encore le contrat de la LGV Tanger-Kenitra (124 millions d'euros pour Colas Rail). Ce carnet donne une bonne visibilité sur le second semestre 2013.

Pour l'activité routes, sous réserve de conditions météorologiques favorables, notamment en fin d'année, tout ou partie du retard d'activité pourrait être rattrapé en France et en Amérique du Nord. En Europe et dans le reste du monde, le chiffre d'affaires total ne devrait pas connaître de variation significative, la poursuite de la croissance de la zone Asie/Australie compensant un recul de l'Afrique/Océan indien.

Les activités de Spécialités seront en croissance grâce à l'activité ferroviaire qui poursuivra sa progression grâce à un carnet de commandes élevé. Sur la base des données actuellement disponibles, l'objectif de chiffre d'affaires pour l'exercice 2013, établi en février et confirmé en mai, est inchangé à 13,2 milliards d'euros (+ 1 % par rapport à 2012).

La BEI participe à la modernisation du métro de Lille Métropole

Moderniser et accroître la capacité du premier métro automatique au monde afin d'offrir au nombre croissant de passagers un transport public de qualité : tel est l'enjeu de l'engagement financier de 300 millions d'euros de la Banque européenne d'investissement (BEI) en faveur du métro de Lille Métropole. Une première tranche d'un montant de 100 millions d'euros a été signée par Martine Aubry, présidente de Lille Métropole et Philippe de Fontaine Vive Curtaz, vice-président de la BEI. Il s'agit d'un financement d'envergure, en faveur du projet de modernisation et de renforcement de l'offre de métro et de doublement des rames de la ligne 1, avec à la clef une augmentation significative de la capacité des deux lignes du VAL.

Le financement contribue à l'achat de 27 nouvelles rames de 52 m pouvant accueillir 420 passagers, dont les premières circuleront dès le début 2016, ainsi qu'aux travaux d'aménagement des quais des 18 stations de la ligne 1. Le pilotage automatique (sol et bord) et les systèmes et équipements associés seront remplacés, la mise en conformité avec la réglementation en matière de sécurité incendie pour le tunnel renforcée.

Parallèlement, 26 des rames actuellement en service seront couplées et au total la capacité de la ligne 1 sera multipliée par 2. Plusieurs rames existantes de la ligne 1 seront également basculées vers la ligne 2, dont la capacité sera ainsi accrue de 30 %. Ce projet s'inscrit dans le cadre de la politique volontariste mise en œuvre par Lille Métropole pour multiplier par 2 l'utilisation des transports en commun d'ici à 2020 avec un réseau capable d'assurer 265 millions de voyages par an contre 160 aujourd'hui. Dans le contexte actuel d'accès au crédit pour les collectivités locales, ce prêt de longue durée et à des conditions attractives grâce à la notation AAA de la BEI, offre une réelle optimisation du plan de financement global d'un projet s'élevant à 610 millions d'euros.

Abandon du réseau routier national

L'Association technique de la route (ATR) a publié un communiqué, cri d'alarme sur l'entretien des infrastructures.

« Depuis plusieurs années, l'ensemble des professionnels du secteur de la construction, de l'exploitation et de l'entretien des infrastructures routières se mobilise pour en défendre son image, ses qualités et ses performances.

La récente interpellation de l'Etat par 26 élus du Val-de-Marne vient conforter ses positions. Notre réseau routier national, mais également départemental et communal est un actif indispensable au rayonnement de notre pays, à son fonctionnement économique, à l'équité territoriale et à la cohésion sociale.

Pour cela, il doit répondre à certains critères en termes de :

- sécurité : si les nids de poule - de plus en plus nombreux sur nos routes - sont très accidentogènes notamment pour les deux roues, l'usure de la chaussée entraîne une diminution importante de l'adhérence des véhicules, cause d'une augmentation des distances de freinage et d'un risque accru de sortie de route. Dans le même esprit, le manque d'entretien des équipements de sécurité tels que les glissières, le marquage au sol, la signalisation verticale ou l'éclairage peut être source d'accident ou facteur aggravant.
- performance : la suppression des nœuds de congestion, la création de voies dédiées pour le transport collectif ou les véhicules « propres », la régulation des vitesses sont autant de solutions techniques pour l'optimisation des réseaux qui s'accompagnera de manière importante d'une amélioration de la productivité des territoires et d'une réduction de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre.
- qualité : la qualité de l'infrastructure et sa maintenance sont garants de sa pérennité. Mais c'est également par l'image qu'elle renvoie, moderne ou vieillissante, structurée ou désorganisée, respectée ou méprisée que l'on nous juge, notamment en provenance de l'étranger.

Il a fallu un audit du réseau ferré pour que l'on se préoccupe, notamment financièrement, de sa sauvegarde ! Plusieurs dizaines de milliards d'euros seront nécessaires pour en remettre à niveau quelques milliers de kilomètres. Devons-nous attendre d'être dans la même situation pour le réseau routier ? Aurons-nous les moyens de reprendre, non pas quelques milliers de kilomètres, mais quelques centaines de milliers ? Techniquement la Profession est prête... Il est urgent d'agir ! ».

International

Espagne Un aéroport mis aux enchères

Tel est l'épilogue d'un crash financier et économique : l'aéroport de Ciudad Real, situé à 200 km au sud de Madrid, devrait être mis prochainement aux enchères. La mise de départ devrait avoisiner 100 millions d'euros.



Depuis 2012, l'aéroport de Ciudad Real n'accueille plus de passagers

Cette vente marque la fin d'un projet pharaonique lancé au milieu d'une zone peu peuplée, dans la province de Castille-La Manche. Ouverte en décembre 2008, la plate-forme aéroportuaire n'a jamais trouvé sa clientèle. Pourtant, elle comporte une piste de 4 200 m pouvant accueillir l'Airbus A 380, le plus grand avion de ligne, et des équipements conçus pour 2,5 millions de passagers. Son coût de construction avoisinait le milliard d'euros. Ciudad Real, 75 000 habitants, n'est jamais parvenue à générer un trafic suffisant pour garantir la rentabilité de la structure : en 2009, 53 557 passagers l'ont empruntée contre 750 000 attendus.

Avec 529 millions d'euros de dettes, l'aéroport est devenu le symbole des dépenses inconsidérées dont l'Espagne s'était fait une spécialité avant la crise.

Royaume-Uni Sanef va exploiter le plus grand péage sans arrêt d'Europe

Sanef élargit ses activités d'exploitant de concessions autoroutières en développant des technologies pour fluidifier et simplifier le passage des automobilistes au péage. Le groupe a ainsi remporté plusieurs appels d'offres importants en Angleterre et aux Etats-Unis. Le dernier en date concerne l'équipement de sa technologie et l'exploitation, à compter d'octobre 2014 du plus grand péage d'Europe, situé à Dartford sur une route d'accès à Londres. Le péage, actuellement traditionnel, sera transformé par Sanef en péage sans arrêt (*free flow*). Les véhicules des abonnés seront équipés de badges RFID, qui seront identifiés à chaque passage. Le dispositif a déjà fait ses preuves au Canada à l'entrée du pont de Port Mann à Vancouver. Il y a quelques semaines, au sein d'un groupement, Sanef a également remporté le contrat de construction et d'exploitation d'un pont destiné à désengorger les accès à Liverpool, à partir de 2017. Il s'agira là aussi de réaliser un péage en flux libre.

Grâce à ces différents contrats, le chiffre d'affaires de Sanef dans cette activité, aujourd'hui de 100 millions d'euros, sera porté à 300 millions dans 5 ans.

Chine Les solutions de Pékin pour réduire la pollution

Selon l'agence de presse officielle chinoise Xinhua, la ville de Pékin a décidé de réduire le nombre de plaques d'immatriculation délivrées chaque année et ce, dès 2014, pour lutter contre la pollution de l'air et les congestions. Alors que le plafond annuel des nouvelles immatriculations est actuellement fixé à 240 000, ce seuil pourrait être revu à la baisse en novembre. L'objectif est de limiter le nombre de véhicules à 6 millions en 2017. Selon Xinhua, Pékin en comptait déjà 5,2 millions fin 2012. En 2011, un système de loterie avait été mis en place. Dernièrement, le ministre chinois de l'Environnement Zhou Shengxian a reconnu que le pays « souffre d'un grave problème de pollution atmosphérique et que ses émissions polluantes dépassent largement les capacités (d'absorption) de la nature. 70 % des villes ne respectent pas les normes de qualité de l'air et il y a urgence à agir ».

Thales remporte un contrat de signalisation CBTC pour 3 lignes de métro

L'opérateur du métro de Hong Kong, MTR Corporation a signé avec Thales un contrat de signalisation de 5 ans pour équiper la phase 1 de la ligne SCL (*Shatin to Central Link*) de son système CBTC (*Communications-Based Train Control*). Le contrat comprend également la modernisation des lignes MOL (*Ma On Shan Line*) et WRL (*West Rail Line*) que Thales avait équipées en 2003-2004 de sa solution CBTC et qui passeraient ainsi en mode automatique. Le programme SCL contribuera à raccorder plusieurs lignes existantes pour former deux corridors ferroviaires stratégiques, l'un est-ouest et le second nord-sud. La ligne MOL sera prolongée pour assurer la correspondance avec la WRL. Avec un total de 57 km, cette extension marquera une nouvelle étape dans l'amélioration de la desserte des Nouveaux Territoires.

■ Allemagne

Panne d'investissements pour les routes

Faute d'investissements, 20 % des autoroutes, 41 % des routes nationales allemandes et 46 % des ponts situés sur le réseau routier présentent un état de vétusté critique. Le réseau ferré n'est pas en reste, où plus d'un tiers des ponts ont plus de 100 ans. L'Allemagne aurait dû investir au lieu de privilégier un budget structurel à l'équilibre, un exploit en Europe. Depuis 20 ans, les dépenses d'infrastructures ont reculé de 24 % en valeur réelle alors que le trafic augmentait nettement. Selon l'institut économique DIW, le pays doit investir au moins 6,5 milliards d'euros supplémentaires par an pour combler son retard et maintenir ses infrastructures routières, ferroviaires et fluviales. Actuellement, il dépense 22 milliards d'euros par an. Les infrastructures sont devenues un enjeu politique. L'Union chrétienne démocrate (CDU) d'Angela Merkel n'exclut pas d'avoir recours aux péages ou à la vignette.

Spie rachète les activités Service Solutions d'Hochtief

Spie a annoncé la signature d'un accord concernant l'acquisition des activités Service Solutions d'Hochtief Solutions AG, regroupant les métiers de *Facility Management* et *Energy Management*. Cette acquisition fera de l'Allemagne le plus grand marché de Spie hors de France et constituera une base solide pour son développement futur en Allemagne et en Europe Centrale. Avec près de 6 000 collaborateurs dont plus de 4 000 en Allemagne, Service Solutions a réalisé en 2012 un chiffre d'affaires de 700 millions d'euros et détient un carnet de commandes de 1,8 milliard d'euros. Basée à Essen, l'activité *Facility Management* (« HTFM ») gère à partir de 28 implantations en Allemagne près de 1 000 contrats correspondant à plus de 2 000 sites pour un chiffre d'affaires annuel d'environ 600 millions d'euros. Cette entité qui emploie près de 5 500 personnes est l'un des leaders allemands sur le marché des services de maintenance multi-technique intégrés. Basée à Hambourg et à Düsseldorf, l'activité *Energy Management* (« HTEM ») emploie près de 300 personnes pour un chiffre d'affaires d'environ 100 millions d'euros et propose une offre complète de services, de la conception à l'exploitation incluant la fourniture d'énergie, dédiée à l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations de ses clients.

Chine

Bouygues Construction remporte un contrat de plus d'un milliard d'euros

Bouygues Construction, à travers ses filiales Dragages Hong Kong et Bouygues Travaux Publics, a remporté un contrat de 1,15 milliard d'euros pour la réalisation d'un tunnel routier sous-marin de 4,2 km de long à Hong Kong. Il s'agit du marché de conception-construction le plus important jamais attribué à Hong Kong.

Le projet

Le projet consiste à réaliser un tunnel sous-marin bi-tube, chaque tube comportant deux voies et mesurant 14 mètres de diamètre. Ce tunnel reliera les Nouveaux Territoires, au nord de Hong Kong, à l'île de Lantau, sur laquelle se situe l'aéroport international. Il sera creusé à 50 m sous la mer, ce qui constitue un record de profondeur pour Bouygues Construction. Il sera réalisé à l'aide de deux tunneliers.

Les deux tubes seront connectés tous les 100 m en 42 points de passage. Les sols seront congelés afin de créer un environnement étanche pour creuser les points de passage.

L'opération comprend également la construction des deux accès au tunnel d'une longueur de 530 et 670 m, réalisés selon la technique de la tranchée couverte. Le chantier s'effectuera dans le respect de normes environnementales strictes en matière d'écologie marine, de qualité de l'eau, de nuisances sonores et de gestion des déchets.

Un chantier innovant

Sur ce projet, deux innovations issues de la Recherche & Développement de Bouygues Construction seront utilisées pour réduire les interventions humaines en conditions hyperbares :

- Mobydic, un système de capteurs incorporés dans les mollettes en têtes de tunneliers, permettra de vérifier leur état d'usure et d'établir en temps réel une cartographie des parois rocheuses.
- Snake, un bras d'exploration télécommandé équipé d'un jet haute pression, nettoiera et éliminera tout colmatage dans les têtes des tunneliers pour autoriser leur inspection.

Les travaux dureront plus de 5 ans (63 mois) pour une livraison prévue fin 2018. Plus de 1 000 collaborateurs seront mobilisés sur ce projet en période de pointe.

RATP Dev et Transdev mettent en service le tramway de Shenyang

Les lignes 1, 2 et 5 du réseau du tramway de Shenyang ont été simultanément mises en service le 15 août 2013, en prévision des 12^e *China National Games 2013* qui débutaient fin août, soit moins de 4 mois après que la joint venture entre RATP Dev et Transdev s'en est vu confier l'exploitation. La ligne 1 relie les stations Exhibition Center et Olympic Center sur 18,7 km ; la ligne 2 s'étend sur 15 km entre les stations Olympic Center et Taoxian Airport et la ligne 5 relie les stations Olympic Center et Shentu City sur 21,1 km. Longue de 15,1 km, la ligne 3 devrait également être mise en service prochainement.

« Le tramway de Shenyang est particulièrement symbolique puisqu'il s'agit du premier tramway moderne en Chine, fonctionnant sans caténaires sur certains tronçons. Sa mise en service témoigne du dynamisme de la joint-venture entre RATP Dev et Transdev et conforte notre stratégie de développement en Chine où de nombreux projets de tramways sont en cours ou à l'étude. Pour nos équipes, être prêtes dans des délais aussi courts a constitué un véritable défi », se sont conjointement félicités François-Xavier Perin, président du directoire de RATP Dev, et Jean-Marc Janaillac, président-directeur général de Transdev. D'une longueur totale de près de 70 km et comprenant 65 stations, ce nouveau réseau de tramway devrait considérablement faciliter les déplacements des quelques 7,2 millions d'habitants de Shenyang. A terme, ces 4 nouvelles lignes devraient accueillir plus de 150 000 passagers par jour. Ce réseau de tramway est en outre appelé à s'étendre puisque la ligne 6 est en construction tandis qu'une ligne 4 est actuellement à l'étude.

D'autres projets à l'étude

La joint venture, créée par les 2 groupes pour contrôler leur développement en Asie, travaille actuellement sur une dizaine de projets en Chine. « Mais les contrats passent rarement par des appels d'offres », souligne François-Xavier Perin, directeur de RATP Dev. « Les contrats sont généralement des accords de gré à gré avec les municipalités, ce qui prend du temps ». Il a fallu par exemple 3 ans de négociations avec Shenyang. Mais en Chine, les réactions peuvent être rapides au vu de la taille de certains projets : les plans de la ville de Canton envisagent de la doter de 1 000 km de lignes de tramway.

Portugal

Vinci finalise l'acquisition d'ANA

Vinci a finalisé l'acquisition des titres d'ANA, société concessionnaire pour une durée de 50 ans des 10 aéroports du Portugal. Il s'agit de la dernière étape du processus de privatisation engagé par le gouvernement portugais et approuvé par la Commission européenne en juin 2013. La transaction valorise ANA, en valeur d'entreprise, à 3,08 milliards d'euros.

ANA constitue un ensemble de plates-formes aéroportuaires situées sur le continent (Lisbonne, Porto, Faro, Beja), aux Açores (Ponta Delgada, Horta, Flores et Santa Maria) et à Madère (Funchal et Porto Santo). Elles ont accueilli plus de 30 millions de passagers au total en 2012, dont environ 80 % à l'international. La croissance du trafic passagers a été supérieure à 4 % en moyenne au cours des 10 dernières années ; ce dynamisme s'est confirmé depuis le début de l'année 2013, avec une progression du trafic de 3,8 % au 1^{er} semestre et une très bonne saison touristique enregistrée durant l'été.

Jorge Ponce de Leão continuera de présider le conseil d'administration d'ANA, qui sera composé des membres du précédent conseil et de personnes désignées par Vinci.

Dossier

IFSTTAR :

Les 35 ans du manège de fatigue français



16 oct 2013

Colloque : « De la voie rapide urbaine à la voie structurante d'agglomération »

Paris (France)

Le colloque, organisé par le Certu, est l'occasion de présenter le nouveau concept de voie structurante d'agglomération (VSA) et les productions du Certu destinées à remplacer l'ancienne ICTAVRU. Pour une meilleure intégration dans les territoires urbains et répondre à de nouveaux enjeux, les voies rapides urbaines sont appelées à devenir des VSA. Ce changement de nom marque l'évolution des voies rapides urbaines face aux enjeux actuels de demande de déplacement croissant avec de nouveaux usages et aux exigences d'une intégration toujours plus complexe à leur environnement. Comme l'indique le sous-titre « Vers une voie intégrée aux territoires ? », un accent particulier sera mis sur les questions de requalification et d'optimisation de ces voies en s'appuyant sur des exemples et des retours d'expériences.

A ce titre, une session spécifique sera consacrée aux aménagements de voies réservées. Seront aussi présentées, les deux typologies de VSA :

- les artères urbaines limitées à 70 km/h,
- les VSA à caractéristiques autoroutières limitées à 90 ou 110 km/h.

Le colloque s'adresse aux ingénieurs et techniciens gestionnaires de ces grandes infrastructures urbaines ainsi qu'aux maîtres d'ouvrage en charge des thématiques de transport à l'échelle d'une aire urbaine.

www.certu.fr

17 oct 2013

Rendre la ville aux piétons, pourquoi, comment ?

Strasbourg (France)

Les villes prennent conscience progressivement de l'importance des modes de déplacement actifs et particulièrement de la marche à pied. Redonner sa place au piéton et lui assurer des déplacements sûrs, efficaces et confortables, relève de la planification et des aménagements de qualité mais aussi du principe d'une gestion policée de la ville pour faire respecter la règle commune.

Le colloque est co-organisé par la ville de Strasbourg avec le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions (CERTU), et en partenariat le Centre national de la fonction publique territoriale (CNFPT), l'Association des ingénieurs

territoriaux de France (AITF) et le Club des villes et territoires cyclables. Il propose :

- une journée d'études et de formation sur une thématique qui occupe une place importante dans l'agenda des collectivités ;
- une analyse philosophique et sociologique de la marche dans les villes ;
- une analyse des besoins des piétons et des villes (environnement, santé, qualité urbaine, jalonnement, sécurité, réglementation, cartographie papier et applications smartphones, attractivité économique, lien social) par des experts des différents domaines cités ;
- un bilan d'expériences pertinentes de villes en France et en Europe et d'études d'experts européens ;
- des ateliers techniques et la visite du chantier d'aménagement de la gare centrale Neudorf.

www.strasbourg.eu/colloque-pieton

17-18 oct 2013

Le manège de fatigue de l'IFSTTAR a 35 ans

Nantes (France)

A l'occasion des 35 ans du manège de fatigue des structures routières, le Laboratoire auscultation, modélisation et expérimentation des infrastructures de transport (LAMES) du département Matériaux et Structures de l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar) réunit les différents acteurs du privé et du public.

Ce grand équipement expérimental, à configurations d'essieux variables, est unique au monde en son genre. En quelques mois, il peut simuler plusieurs dizaines d'années de trafic lourd pour évaluer la durée de vie des structures testées. Sur deux demi-journées, à travers des conférences et des visites, l'histoire, les grandes expérimentations et les projets d'avenir mettront en lumière le parcours inédit de cet équipement d'excellence. Ces journées constituent une occasion de partager les résultats de recherche de l'Ifsttar avec un public plus large constitué de professionnels de la recherche, des entreprises et des services techniques des collectivités territoriales.

<http://35ans-manege.ifsttar.fr>

21-24 oct 2013

Rencontres nationales des gestionnaires de routes

Fréjus (France)

Idéal Connaissances et le Club Routes ont organisé en 2011 les Premières

rencontres nationales des gestionnaires de routes. Fort du succès de la 1^{re} édition, ils les renouvellent à l'automne.

Ce séminaire de formation organisé en mode « immersion » est réalisé en partenariat avec l'ASCQUER, le Syndicat des équipements de la route (SER) et le Cisma. Il s'adresse aux cadres et techniciens des services route et voirie des collectivités et des entreprises privées. Il se déroule en assemblées plénières et en ateliers autour de trois thématiques : « Faire un tour d'horizon des nombreuses évolutions réglementaires, normatives et techniques en matière d'équipements et d'entretien des routes », « Les équipements de la route » et « L'entretien des routes ».

www.rencontres-routes.com

22 oct 2013

Journée technique « Les pierres naturelles en aménagement urbain »

Nantes (France)

La direction Espace public et voirie de Lille Métropole communauté urbaine (LMCU) organise une journée technique, en collaboration avec le Centre technique des matériaux naturels de la construction (CTMNC) et l'Association des ingénieurs territoriaux de France (AITF) région Nord. Elle sera l'occasion de décliner l'ensemble des paramètres techniques à prendre en compte pour concevoir, prescrire et réaliser juste. Les avancées scientifiques dans ce domaine seront également abordées, notamment avec les premières applications des résultats de la recherche conduite au sein du CTMNC, pour connaître les caractéristiques et le gisement d'origine des pierres.

Après de nombreuses erreurs et beaucoup de tâtonnements sur les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour un pavage réussi, cette journée concentre toute la connaissance actuelle pour réaliser une opération d'aménagement parfaitement réussie.

24 oct 2013

Transition énergétique : de l'intention à l'action

Paris (France)

L'Union routière de France (URF) organise une conférence-débat organisée sur le thème : « Transition énergétique : de l'intention à l'action - Contributions pour une nouvelle mobilité ». A l'issue du débat national sur la transition énergétique,

le gouvernement doit présenter une loi de programmation à la fin de l'année. La panoplie des solutions proposées est très large. Les orientations retenues devront s'apprécier à l'aune des trois critères d'une politique énergétique exigeante et moderne : compétitivité, indépendance et durabilité. Jusqu'à ce jour, la mobilité n'a pas été traitée comme un sujet majeur. Les acteurs de la filière route souhaitent valoriser leurs analyses et leurs propositions afin d'améliorer l'efficacité énergétique de toutes les mobilités.

Ouverte par Pierre Gattaz, président du Medef, la conférence-débat s'articulera autour de deux tables rondes :

- Comment lever les freins et réussir la transition énergétique ?

Quels enjeux économiques, de gouvernance, de mise en œuvre de mobilisation des acteurs ?

- Quelle mobilité pour réussir la transition énergétique ?

Comment la mobilité peut aider à la mise en œuvre de la transition énergétique : analyses et propositions de la filière route.

Cette manifestation se déroulera en présence d'experts et de dirigeants de premier plan du secteur de la mobilité et de l'économie.

www.unionroutiere.fr

24 oct 2013

Journée technique Offices des Asphaltes

Paris (France)

Le syndicat professionnel des entrepreneurs d'asphalte coulé organise un après-midi technique sur le thème de l'asphalte coulé décliné sous toutes ses facettes. A cette occasion, seront abordés plusieurs sujets notamment : rappels techniques liés à l'asphalte coulé, les asphaltes coulés basse température, l'innovation au service des aménagements qualitatifs, ...

www.asphaltes.org

24-25 oct 2013

2^e Carrefour des maires et des collectivités locales de Franche-Comté

Besançon (France)

Créé à l'initiative du Cluster Eco Chantiers, en partenariat avec les quatre associations départementales des Maires de la région, la Fédération régionale des Travaux publics (FRTP) de Franche-Comté et la SEM Micropolis, le Carrefour des maires et des élus locaux est une plate-forme d'échanges, entre les exposants et les visiteurs, élus et décideurs territoriaux, sous forme de débats autour de thèmes

d'actualités, espaces de conférences, ateliers et tables rondes. Il propose le 24 octobre une journée technique CoTITA Centre-Est, sur le thème « Infrastructures routières et déploiement du réseau très haut débit », organisée par le CETE de Lyon, l'Association des directeurs des services techniques départementaux (ADSTD), et les FRTP de Bourgogne et de Franche-Comté. Ce même jour, se tiendra également la matinée des assises régionales de la sécurité industrielle qui traitera de la « Prévention des dommages aux ouvrages, le respect du décret anti endommagement et les innovations en matières de sécurité sur les ouvrages souterrains », organisée par GrDF, les Canaliseurs de France (délégation de Franche-Comté), et la FRTP Franche-Comté. Le 25 octobre, le Grand débat public aura pour thème « Municipales 2014 : quelles priorités d'investissement pour demain ? », également organisé par la FRTP. Quels sont les enjeux de territoire en matière d'investissements, les attentes des citoyens, la définition des projets prioritaires, comment en assurer leurs financements ou encore mesurer leurs impacts sur la croissance. L'ensemble de ces questions sera mise en rapport avec les échéances électorales municipales à venir. Le débat de clôture traitera de « Innovation et marchés de Travaux publics : entre prise de risque et compétitivité », en bilan des travaux du Cluster Ecochantiers et en collaboration avec l'IDRRIM et l'IFSTTAR. www.carrefour-maires.com

24-25 oct 2013

Les Journées de la Mobilité intelligente Lyon (France)

ATEC ITS France organise, en partenariat avec le Grand Lyon, le pôle scientifique et technique Rhône-Alpes Mobilité des personnes et des marchandises et le pôle de compétitivité LUTB, les journées de la mobilité intelligente qui traiteront des coopérations entre les acteurs publics, les entreprises privées et la recherche académique, afin de construire les services de mobilité urbaines de demain. Ces journées de la mobilité intelligente seront inaugurées par le sénateur-maire de Lyon et président du Grand Lyon. La table ronde inaugurale sera suivie d'ateliers d'approfondissement, plus particulièrement sur la mobilité des personnes au travers de 3 thématiques :

- les enjeux globaux de la mobilité,
- la mobilité interconnectée,
- l'économie de la mobilité.

www.atec-itsfrance.net

29 oct 2013

Rencontres nationales sur la sécurité routière Paris La Défense (France)

Ces Rencontres, sur le thème des équipements de signalisation verticale, sont organisées par la délégation interministérielle à la Sécurité routière, l'Association pour la certification et la qualification des équipements de la route (ASCQUER) et le Syndicat des équipements de la route (SER). Lors de cet après-midi d'échanges, plusieurs thèmes seront abordés : aspect réglementaire européen, l'aspect réglementaire français, l'impact sur la rédaction des marchés, l'impact du Règlement produits de construction (RPC). Une table ronde traitera notamment de la signalisation temporaire, supports à sécurité passive, ...

10-14 nov 2013

17^e Congrès mondial de l'IRF Riyad (Arabie Saoudite)

Le congrès et son exposition constituent une occasion d'établir des contacts avec des ministres, des hauts représentants d'organismes gouvernementaux, des leaders du monde de l'entreprise et des spécialistes du transport à Riyad, au cœur d'une des régions du monde les plus économiquement attractives, théâtre d'un grand nombre de projets d'infrastructure parmi les plus emblématiques du moment [http://www.irf2013.org/overall-program/](http://www.irf2013.org/overall-program/program/)

13 nov 2013

Nouveaux usages de la mobilité portés par les NTIC Paris (France)

Dans un monde des déplacements en pleine mutation, les technologies de l'information et des communications jouent un rôle essentiel, dans l'évolution du transport vers la mobilité et dans la perméabilité des frontières entre modes. Ces technologies ont apporté des solutions pour l'information, aux différentes étapes de sa production : sa capture, son traitement et sa diffusion. La révolution en cours des Smartphones met l'utilisateur au cœur de ce processus, lui donnant les moyens de s'approprier pleinement son déplacement et offrant une palette de nouveaux services, qui modèlent la mobilité de demain. Le voyageur connecté va créer un monde différent pour les déplacements. *Open data, big data, réseaux sociaux, crowdsourcing* (contribution collaborative),

centrales de mobilité, services à bord, 4G, fidélisation, ..., Atec-ITS France propose de faire un panorama sur les applications actuelles et à venir des technologies du numérique aux systèmes de transport intelligents (ITS), à travers des exposés d'experts et des présentations de retour d'expériences terrain d'industriels et de collectivités. Cet événement s'organisera autour de 3 tables rondes :

- sources et agrégation de l'information mobilité,
- services à la mobilité,
- *crowdsourcing*, contribution collaborative et réseaux sociaux.

www.atec-itsfrance.net

27-29 nov 2013

24^e Rencontres nationales du transport public Bordeaux (France)

Les prochaines Rencontres nationales du transport public, organisées par le GIE Objectif transport public, rassembleront tous les acteurs de la filière autour des congrès du Groupement des autorités responsables de transport (GART) et de l'Union des transports publics et ferroviaires (UTP). L'événement mobilité de l'année 2013 traitera d'une question cruciale : « Quel équilibre économique face aux défis du report modal ? ». L'équilibre financier du transport public est fragilisé dans un contexte économique et budgétaire très contraint. Autorités organisatrices et entreprises poursuivent leurs réflexions afin de développer les politiques de report modal. Le GART et l'UTP ont identifié les gains de productivité possibles et 7 leviers d'action : étendue géographique de l'offre, étendue horaire, fréquence et capacité, gestion du parc de véhicules, tarification, vitesse commerciale et politique de stationnement. Cette démarche commune du GART et de l'UTP aboutira à des recommandations partagées. Le fruit de ce travail sera livré à Bordeaux pour être débattu lors des tables rondes. Près de 5 000 congressistes et professionnels (élus, membres de collectivités en charge des transports, responsables politiques, industriels, sociétés exploitantes de réseaux, fabricants de matériels, organismes de recherche, ...) sont attendus. Ces Rencontres s'articuleront autour d'une exposition qui regroupera près de 150 exposants français et européens

issus de tous les métiers du transport public urbain, interurbain et régional. Les 24^e Rencontres sont organisées avec le soutien de la Communauté urbaine de Bordeaux, du conseil général de la Gironde et de la Région Aquitaine. www.rencontres-transport-public.fr

28 nov 2013

Journée d'information « Revêtements et lumière » Paris (France)

Le groupe Revêtements et lumière organise cette journée d'information et d'échange d'expérience qui s'articulera autour de quatre thèmes : les fondamentaux ; les projets innovants et les démonstrateurs ; mise en perspective avec les grands enjeux de l'énergie et de la ville durable ; préparer le futur : recherche, innovations, nouvelles technologies : la vision des acteurs publics et privés. Une table ronde, animée par Marie-Françoise Ossola, directeur des rédactions de la RGRA, clôturera la journée avec les analyses des comités des représentants. j-p.christory@wanadoo.fr

3-4 déc 2013

Séminaire Mobilité Mutations Valbonne Sophia Antipolis (France)

Organisé par l'Ademe, le séminaire a pour ambition en 2 jours et avec 100 décideurs et chercheurs des transports et de la mobilité de gagner 10 ans. La mobilité est en mutation, énergétique, écologique, numérique et sociétale. Et ces mutations s'accroissent localement et mondialement. Quelles sont les mobilités d'avenir ? Quels industriels, opérateurs les maîtriseront ? Quels impacts sur vos chaînes de valeurs ? Ces journées sont organisées auprès des professionnels, chercheurs et industriels, et des collectivités sur le thème des transports et des technologies de communication et de mobilité. L'objectif est de créer des synergies entre les acteurs pour favoriser des projets de mobilité « intelligente ». www.jt-mobilitesmutations.ademe.fr/

Institut français des sciences
et technologies des transports,
de l'aménagement et des réseaux



Un grand équipement de l'Ifsttar :

Le manège de fatigue des structures routières



Un accélérateur de trafic exceptionnel dans le monde

Le manège de fatigue de l'Ifsttar est un simulateur de trafic, permettant d'étudier le comportement en vraie grandeur des chaussées sous trafic lourd accéléré. Entré en service en 1984, plus de 100 structures ont été testées à ce jour, en partenariat avec la profession.

D'un diamètre de 40 m, sa puissance permet d'entraîner jusqu'à 100 km/h des charges de plus de treize tonnes placées en bout de bras. Deux mois de rotation peuvent représenter jusqu'à 20 ans de trafic poids lourd subi par une chaussée à moyen trafic (T3 : 150 PL/jour). Les essais peuvent concerner les structures de chaussées neuves, leurs techniques d'entretien et de renforcement, ainsi que tout élément de voirie. Les dimensions du manège permettent de construire les sections d'essais avec du matériel courant de chantier.

Le manège

Le manège est formé d'une tourelle centrale et de quatre bras à l'extrémité desquels peuvent être fixées des charges roulantes reproduisant les configurations d'essieux des poids lourds courants (roues simples ou jumelées montées sur essieux simples, tandem ou tridem).

Roue simple



Roues jumelées



Tandem à roues jumelées



Tridem



Au milieu du bras un appui intermédiaire roulant sur un anneau en béton armé permet de stabiliser les bras et d'éviter les surcharges dynamiques. Les trains de roulement circulant en bout de bras possèdent un système original de suspension à faible raideur permettant le contrôle des charges appliquées aux chaussées expérimentales, quel que soit leur degré de dégradation. Les charges peuvent se déplacer latéralement pendant la rotation du manège, afin de simuler le balayage transversal du trafic routier.

Les pistes



Vue aérienne des trois pistes d'essai

Le site dispose de **trois anneaux d'essais** permettant au manège d'être déplacé d'un site à l'autre en une semaine. Les pistes ont un rayon moyen de 17,5 m, la largeur de chaussée est de 6 m. Il est possible de brocher les trains de roulement à différents rayons moyens de rotation le long des bras (de $R = 15,50$ m à $R = 19,50$ m). Un anneau présente un périmètre moyen de 110 m, qu'il est possible de subdiviser en plusieurs secteurs d'essais dévolus ou non à une même problématique.



Cuvelage pour la reconstitution de la nappe phréatique

L'un des anneaux est doté d'un **cuvelage en béton** de 3 m de profondeur et 10,40 m de large, rempli d'un sable argileux et muni de systèmes de pompage permettant de piloter le niveau de la nappe phréatique dans le sol support des chaussées expérimentales. Il est possible de faire varier ce niveau en cours d'expérience pour reproduire les cycles hydriques saisonniers.

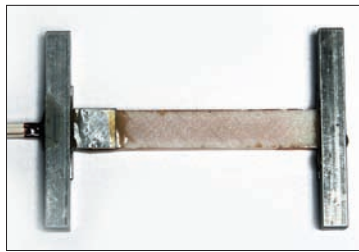
Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Construction des chaussées

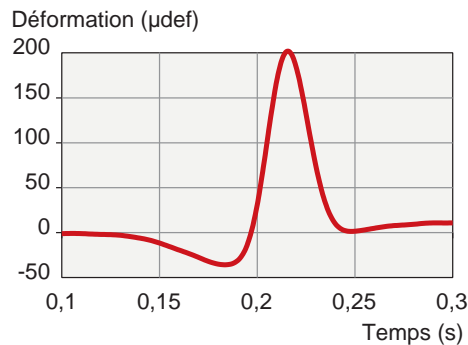
Les chaussées testées sont réalisées avec du matériel courant de construction routière (fabrication des matériaux dans les centrales de la région nantaise, matériels de répandage et de compactage utilisés sur chantiers réels).

Instrumentation et auscultation des chaussées

Les structures de chaussées sont instrumentées à la construction afin de pouvoir suivre leur évolution. Les paramètres généralement mesurés sont : la déflexion de la chaussée, les déformations longitudinales et transversales dans les couches traitées, les déformations et contraintes verticales dans les couches non liées, les températures. D'autres capteurs peuvent être utilisés pour des applications spécifiques : accéléromètres, géophones, sondes de teneur en eau, tensiomètres. Le système d'acquisition de données permet de recueillir jusqu'à 256 voies de mesure.



Jauge de déformation pour matériaux bitumineux



Signal de déformation longitudinale mesurée sous le passage d'une roue du jumelage



Jauge de déformation pour matériaux non liés



FWD (Falling Weight Deflectometer)

Les chaussées sont également suivies par des relevés visuels et des essais d'auscultation de surface. Les mesures réalisées de manière courante sont les mesures de déflexion à la poutre Benkelmann, de profil transversal (mesure de profondeur d'ornièrre), les relevés de fissuration, les essais FWD (déflectomètre à masse tombante), les mesures radar. Les dimensions du manège permettent d'accueillir la plupart des matériels d'auscultation routière.

■ Caractéristiques techniques

Puissance machine : 1000 ch
Charge roue simple large : 45 kN
Charges roues jumelées : 65 kN
Charges tandem roues simples/jumelées : 90 kN/130 kN

Charges tridem roues simples : 135 kN
Vitesse maximale à R = 19 m : 100 km/h
Trafic journalier maximal : 55 000 chargements à 70 km/h
Balayage transversal : +/- 52 cm

Domaines d'application du manège

Les essais accélérés sur manège permettent de tester en temps réduit la durabilité de solutions constructives, en général destinées sur chaussées à des durées de vie de l'ordre de 20 à 30 ans.

Les applications sont nombreuses :

- Évaluation de matériaux et structures de chaussées innovants (fatigue, ornierage, fissuration...).
- Évaluation de méthodes de construction, d'entretien et de renforcement des structures de chaussées.
- Étude de l'agressivité des charges routières et des systèmes de transport urbains sur pneus.
- Influence de l'état hydrique sur le comportement des matériaux non traités et des sols.
- Validation de modèles de comportement et de dimensionnement de chaussées.
- Évolution avec le trafic des propriétés d'usage des chaussées (uni, adhérence).
- Étude du comportement et de dimensionnement d'éléments de voirie : revêtements pour traversées de voies de tramways, caniveaux, tampons de canalisation, canalisations sous voirie, tranchées...
- Tests et évaluation de matériels d'auscultation et d'instrumentation des chaussées.

*Fissuration
d'une structure
souple*



*Orniéage
d'une
structure
(trafic
canalisé)*



*Test de pièces
de voiries*



*Test de
chaussées
de tramway*



De multiples partenariats

Direction générale des routes du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Association des sociétés françaises d'autoroutes, ASFA

Entreprises de construction routière et bureaux d'étude : Eiffage, Eurovia, Colas-Screg, Egis

Syndicat professionnel des entrepreneurs de chaussées en béton
et d'équipements annexes, SPECBEA

Syndicat français de l'industrie cimentaire, SFIC

Producteurs de matériaux : Shell, Total, BP, UNPG (union nationale des producteurs de granulats)

Chaussées urbaines et composites : Alstom, Bombardier, Saint-Gobain fonderie,
Saint-Gobain géogrilles, Gaz de France, Tensar, RATP, 6D Solutions, CNET Lannion

Ministère des Transport du Québec

ANR (Recyroute)

Projets européens : OPTEL, TROWS, FORMAT

OCDE (projet Force First OECD Road Common Experiment)

■ Contacts

ifsttar - Laboratoire LAMES
Route de Bouaye - CS4
44344 Bouguenais Cedex

Responsable : **Pierre Hornych**
pierre.hornych@ifsttar.fr
Tél. : +33 (0)2 40 84 58 09

Secrétariat : **Isabelle Larrue**
isabelle.larrue@ifsttar.fr
Tél. : +33 (0)2 40 84 59 27



AUTEUR

Jean Berthier (†)
Ancien directeur des Routes
Ministère des Transports



De l'essai AASHO au manège de fatigue



Après avoir décrit l'état du réseau routier national français à la fin de la Seconde Guerre mondiale, et rappelé les bouleversements qu'a connus la technique routière dans les décennies qui ont suivi, l'article fait l'historique des essais en grandeur nature qui, avant la mise en place du manège de fatigue, ont contribué au progrès des méthodes de dimensionnement des chaussées.

Suivent l'évocation – anecdotique – de la piste d'essai construite en 1931 dans le Bois de Vincennes et la description des deux grands tests organisés aux Etats-Unis entre 1950 et 1960, les essais *WASHO* et *AASHO* : le premier a contribué à la mise au point des abaques Jeuffroy et Bachelez, et les résultats du second ont été finalement plutôt décevants, du moins au regard des dépenses engagées.

Une fois rappelée l'approche française, initialement centrée sur la réalisation de planche d'essai sur le réseau existant, c'est le projet d'une piste d'essai envisagée sur le terrain de Nantes du Laboratoire central des Ponts et chaussées (LCPC, devenu IFSTTAR) qui est décrit. Cette solution est finalement abandonnée en raison de son coût excessif, et le choix définitif se porte sur la réalisation du manège de fatigue.

Introduction

Avant d'évoquer l'historique des essais routiers en vraie grandeur qui ont précédé la mise en service du manège de fatigue, il convient de rappeler brièvement les évolutions considérables qui se sont produites en France dans l'immédiat après-guerre en matière de conception et de réalisation des chaussées (on trouvera davantage de détails sur ces évolutions dans le n° spécial de la RGRA « 100 ans de routes en France » [1]). C'est en effet l'époque des premiers travaux sur le dimensionnement des chaussées, dont les essais en vraie grandeur constituent une composante importante.

Même si les prémices de progrès futurs avaient commencé à apparaître dès les

années 1920, l'essentiel du réseau français de rase campagne était, à l'issue de la Seconde Guerre mondiale, composé de chaussées « *empierrées* », constituées suivant les principes définies en 1777 (*sic* !) par Trésaguet, complétés en 1816 par ceux de McAdam, d'un « *hérissron* » de 15 à 25 cm de grosses pierres placées « *de champ* », mises en place à la main, et recouvertes de 15 à 20 cm de pierres 40/70 dans lesquelles on faisait pénétrer par balayage une « *matière d'agrégation* ».

De telles chaussées étaient totalement incapables de supporter les charges lourdes ; elles étaient éminemment contaminables et sensibles au gel, comme le montreront plus tard les graves conséquences du gel-dégel de février 1963, qui a conduit à la ruine des trois quarts du

réseau routier national ; et enfin, et surtout, leur mise en œuvre était très consommatrice de main-d'œuvre.

En ce qui concerne le dimensionnement de ces chaussées, on ne peut mieux faire que de citer Daniel Boutet qui, dans l'édition de 1944 de son cours à l'ENPC [2], rappelle que, pour les épaisseurs, « *il n'y a pas de règles précises et qu'on s'est contenté jusqu'à présent de règles empiriques* ». Il estime pour sa part que « *sur la plupart des terrains, une épaisseur de 0,25 à 0,30 m est suffisante pour assurer une répartition satisfaisante des efforts* ».

Avant de quitter ce lointain passé, et bien qu'ils n'aient pas eu de réelles conséquences en matière de dimensionnement des chaussées, il paraît légitime

d'évoquer les essais réalisés dans les années 1930 sur la piste d'essai du Bois de Vincennes, dans la mesure où ils constituent une modeste préfiguration des essais AASHO (*American Association of State Highway Officials*) dont il sera question par la suite.

La piste d'essai de Vincennes – Maison Blanche (1931)

Même si elle ne constitue pas la toute première initiative française en matière de chaussée expérimentale, puisque, à la demande de Victor Legrand, directeur général des Ponts et chaussées, des essais de ce type avaient déjà été conduits dans les années 1830 [3] par deux très grands mécaniciens, Claude Navier et Gustave Coriolis – l'un et l'autre membres du corps des Ponts et chaussées - la piste d'essai de Vincennes fut la première qui concernât des véhicules « modernes », et à ce titre mérite d'être évoquée.

La décision de la construire était motivée par le fait que « *l'étude des problèmes relatifs à la constitution et à la résistance du revêtement des routes et des rues [...] avait jusqu'ici été conduite, en France, soit au moyen de recherches poursuivies dans des laboratoires fermés, soit par des expériences directes effectuées sur des chaussées ouvertes à la circulation générale [...] et que certaines recherches qui ne peuvent se contenter du domaine restreint du laboratoire [...] sont difficilement réalisables sur la voie publique où l'expérimentateur n'est pas maître de faire varier à son gré les facteurs...* » [4]. C'est ce constat, toujours actuel, qui a conduit à la construction d'une piste-route soustraite au public, dans l'enceinte dite de la Maison-Blanche du Bois de Vincennes (photo 1), à l'initiative du ministère des Travaux publics, du ministère de la Guerre et de la Ville de Paris.

La longueur de la piste, en forme de contour fermé sensiblement quadrilatère, était de 933 m, et sa largeur de 6,50 m entre bordures de trottoir. La chaussée comportait une fondation en hérisson sur laquelle venaient se placer les revêtements destinés aux expérimentations.

Les premiers essais réalisés visaient à comparer l'usure d'une chaussée en macadam revêtue de différents types d'enduits superficiels, sous l'effet de camions de 7 t pourvus, les uns de bandages pleins en caoutchouc, et les autres de bandages pneumatiques. Ce sont, bien entendu, les seconds qui en sont sortis vainqueurs !

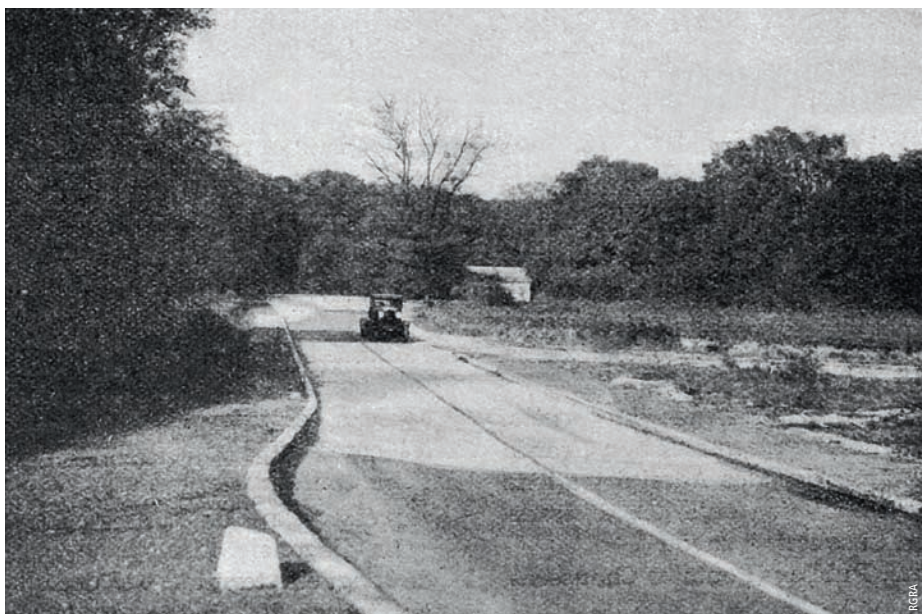


Photo 1
La piste expérimentale de Vincennes : un camion en cours d'essai
Vincennes test track: ongoing test with lorry

Ils ont été retenus pour équiper les deux véhicules d'essai de 10 t, roulant soit à 30 km/h, soit à 60 km/h, sur différents types de revêtements : macadam ordinaire simplement goudronné, béton asphaltique, bétons de ciment, pavages mosaïques, etc.

Les essais, dont nous n'avons pas de compte rendu précis, étaient en fait ciblés sur l'usure des revêtements plus que sur la conception et le dimensionnement de la chaussée.

L'évolution des techniques routières françaises dans les années 1950-1960

Les deux premières décennies de l'après-guerre sont marquées en France, dans le domaine routier, par de très importantes et rapides évolutions, à la mesure de l'importance extrême des besoins d'un réseau routier fragile et considérablement endommagé du fait des opérations de guerre, et aussi d'un grave déficit d'entretien pendant toute cette période.

Ces évolutions ont été encouragées et facilitées par la prise en charge, par le « Plan Marshall », de « *missions de productivité* » aux Etats-Unis. C'est dans ce cadre que le ministère des Travaux Publics organise, en concertation avec la profession, et avec un soutien actif de l'administration américaine, un certain nombre de missions auxquelles participent la plupart des ingénieurs qui « porteront » ensuite la modernisation des techniques routières françaises.

Dans le domaine des chaussées souples⁽¹⁾, deux évolutions majeures résultent très directement de ces missions :

- L'abandon pour les corps de chaussée des techniques utilisant des matériaux calibrés, dont la mise en œuvre était très consommatrice de main-d'œuvre, au profit de matériaux à granulométrie continue.
- Le développement des enrobés, d'abord sous une forme inspirée de celle des techniques américaines, celle des enrobés denses, puis considérablement améliorés grâce aux travaux de Raymond Sauterey et de Jacques Bonnot.

Une importation massive de matériel américain de fabrication et de mise en œuvre accompagne ces deux évolutions, ce qui a fait dire par certains qu'on assistait à une « *américanisation* » de la technique routière française.

L'évolution suivante est vraiment d'origine française, c'est « l'invention » et le développement des graves traitées aux liants hydrauliques : graves-ciment à partir de 1958, sous l'impulsion de Pierre Godin, à l'occasion de la construction de la déviation de Montargis ; graves-laitier à partir de 1961, à l'initiative d'Erio Prandi, à l'occasion de chantiers routiers en Lorraine, puis dans la région d'Autun ; graves-bitume ; graves-émulsion, etc. Elle marquera très profondément la conception française des chaussées à trafic lourd, aussi bien en chaussées

⁽¹⁾ Sachant que dans le domaine des chaussées en béton, c'est parallèlement une véritable révolution qui s'opère avec l'introduction en France des machines à coffrage glissant, et grâce au dynamisme des apôtres de ces techniques que furent Georges Reverdy et les présidents successifs du syndicat des chaussées en béton.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

neuves qu'en renforcements, et ce sont par la suite nos collègues américains qui viendront chez nous s'informer de nos pratiques !

Les progrès en matière de dimensionnement des chaussées ont été plus lents, leur « coup d'envoi » le plus spectaculaire ayant été la publication en 1957 des abaques de Jeuffroy et Bachelez, que leurs auteurs ont « calés », comme nous le verrons, sur les résultats de l'essai WASHO.

L'essai WASHO (1952-1954)

Cet essai, réalisé à l'initiative de la *Western Association of State Highway Officials* qui réunit douze Etats de l'Ouest, avec la participation du *Bureau of Public Roads*, a été mis en œuvre de 1952 à 1954 sur des chaussées souples [5] de l'Idaho.

L'association WASHO a fait construire pour ce test deux circuits de 2 km de longueur comportant, sur un sol limoneux, des chaussées souples classiques d'épaisseurs variées, dotées d'un revêtement en béton bitumineux de 5 cm et 10 cm d'épaisseur, sur lesquelles on a fait circuler pendant deux ans des camions à essieux simples ou jumelés.

L'un des grands mérites de cet essai est d'avoir fait émerger pour la première fois la notion « d'effet de dalle » des tapis d'enrobés épais et apporté à Georges Jeuffroy et Jacques Bachelez la matière nécessaire pour valider leur modèle théorique, dont la publication en 1957 sous forme d'un article de la RGRA a fait grand bruit [6].

A propos de « l'effet de dalle », les termes utilisés dans l'introduction de cet article, rédigée par R. de L'Hortet, directeur du STBA (Service technique des bases aériennes), employeur de G. Jeuffroy et J. Bachelez, illustrent bien le succès de ce nouveau terme : « les essais WASHO ont démontré de façon éclatante le rôle d'effet de dalle des tapis bitumineux épais... une telle révélation a enthousiasmé les ingénieurs routiers ! ».

Dans l'article lui-même, G. Jeuffroy et J. Bachelez soulignent aussi - de façon moins grandiloquente - que l'essai WASHO a « mis en évidence, de façon spectaculaire, ce qu'il est convenu d'appeler maintenant effet de dalle. Il semble bien qu'un revêtement épais (épaisseur supérieure à 6 ou 7 cm)... se comporte comme une plaque élastique et soulage les couches inférieures de la chaussée ainsi que le sol de fondation.

Un revêtement de cette nature est « équivalent » à une épaisseur beaucoup plus importante de matériaux routiers communs ».

C'est dans l'article précité que G. Jeuffroy et J. Bachelez livrent pour la première fois leurs célèbres abaques et, en choisissant différentes hypothèses de module, les ajustent de façon remarquable aux résultats de l'essai WASHO.

L'essai AASHO (1958-1960)

Il s'agit d'un essai beaucoup plus ambitieux que le précédent, puisque son coût a été estimé à 27 millions de dollars, ce qui avait paru vraiment considérable aux yeux des ingénieurs français.

La conception précise de l'essai est confiée par les initiateurs du projet à un comité spécial du *Highway Research Board*, qui propose la réalisation d'un essai à grande échelle près d'Ottawa (Illinois). L'emplacement est choisi parce que le sol y est uniforme et représentatif de ce que l'on trouve dans de vastes régions du pays et parce que le climat représente bien celui que l'on rencontre dans la plus grande partie du nord des Etats-Unis. Le comité propose de réaliser sur ce site quatre circuits principaux et deux circuits plus petits pour certains essais spéciaux.

Chacun des circuits principaux comporte deux lignes droites de 2 km, raccordées par des courbes de 60 m de rayon, les sections d'essai ayant une longueur de 30 m (figure 1).

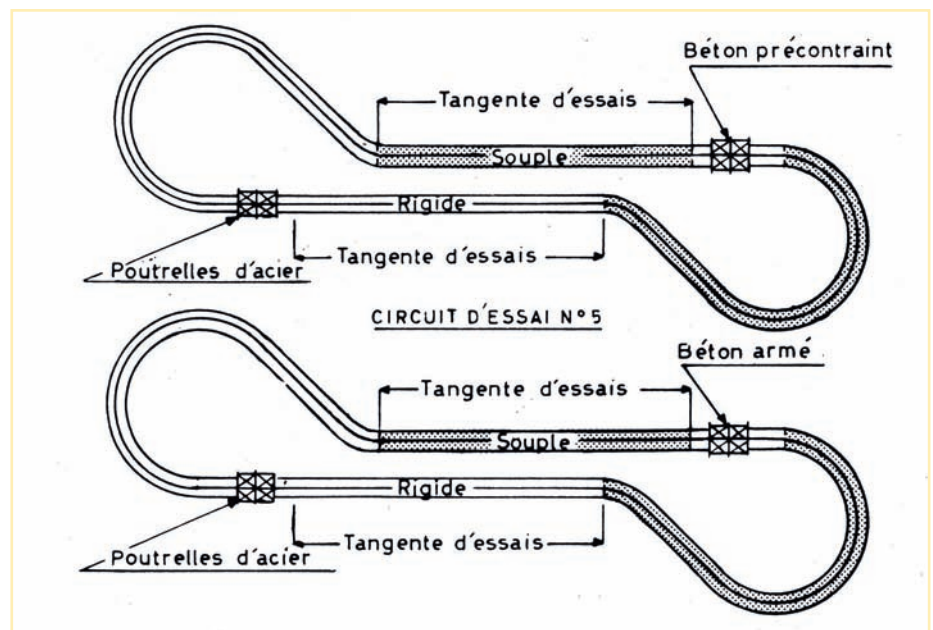


Figure 1
Les pistes de l'essai AASHO
AASHO test tracks

Ses objectifs, définis en 1951 par l'*American Association of State Highway Officials* en collaboration avec le *Bureau of Public Roads*, étaient essentiellement d'ordre économique :

- imputation optimale des coûts entre les diverses catégories de véhicules, et mise sur pied d'une taxation équitable des transports routiers ;
- caractéristiques des véhicules permettant d'obtenir le coût de transport le plus faible ;
- lois d'évolution des différents types de structure, et dimensionnement optimal d'une chaussée destinée à recevoir un trafic déterminé.

Pour assurer l'uniformité du sol support, celui-ci a été remplacé sur une épaisseur de 90 cm par des matériaux d'emprunts extraits à proximité du projet, amenés à une teneur en eau uniformément légèrement supérieure à l'optimum, malaxés à fond dans des malaxeurs rotatifs, et compactés en 9 couches de 10 cm.

Variables selon les sections, les matériaux utilisés dans les structures de la chaussée, sont les suivants :

- couche de fondation constituée d'un mélange de sable avec un gravier de concassage extrait à proximité du site, le fuseau de tolérance étant plus large que celui des couches de base ;

- couches de base non traitées en calcaire dolomitique concassé à granulométrie continue ;
- couches de base traitées au ciment constituées du matériau de la couche de fondation traitée par 4 % de ciment en centrale à béton ;
- couche de base traitée au bitume constituée du matériau de la couche de fondation traitée en poste discontinu par 5 % de bitume ;
- couche de base en béton bitumineux de bonne qualité.

Le chargement (figure 2) est exercé par 10 types de véhicules chargés avec des blocs de béton, équipés à la fois d'essieux simples de 0,9 à 3,6 t et d'essieux tandem de 10,9 à 21,8 t, tous gonflés conformément aux pratiques normales.

Au total, 126 camions ont été mobilisés pour l'essai.

La construction des ouvrages commence en 1956 ; les essais débutent à l'automne 1958 et se terminent en novembre 1960, date à laquelle 1 140 000 charges avaient été appliquées.

L'un des aspects frappants de l'expérimentation est l'attention extrême apportée à la régularité des matériaux ; des précautions extraordinaires ont été prises pour que les conditions d'exécution des travaux soient strictement identiques pour toutes les sections : aucun camion n'a circulé sur les couches de forme, aucun engin de terrassement n'y a fait demi-tour.

Malgré ces conditions de réalisation et d'expérimentation particulièrement soignées, on observe une grande dispersion des résultats, puisque la durée de vie d'un même type de structure se situe parfois dans une fourchette de 1 à 3,5 fois !

Curieusement, l'étude de l'influence de la nature des matériaux de la chaussée n'était à l'évidence pas l'objectif principal de l'essai AASHO, puisque sur les 234 types de planches expérimentales relatives aux chaussées souples, 210 ont été construites avec le même type de couche de surface, de base et de fondation, et 12 seulement avaient des couches de base liées au ciment ou au bitume. Si, au moment de la conception de l'essai, au début des années 1950, on pouvait considérer comme classiques des chaussées à couche de base non rigidifiées, il n'en était plus de même à son achèvement, et le fait que les couches de base liées y soient aussi peu représentées fut incontestablement l'une des grandes faiblesses de l'essai, pour les ingénieurs français.

Au total, et malgré l'importance des moyens engagés, les apports de l'essai AASHO en matière de dimensionnement des chaussées souples sont restés modestes, puisque essentiellement limités à la définition, pour différencier « l'efficacité » des matériaux, de la notion « d'épaisseur équivalente ». Proposée par Liddle [8] au comité de calcul de l'AASHO - avec précaution compte tenu du faible nombre de sections non « classiques » et de la dispersion des résultats - la méthode est basée sur l'utilisation de l'indice CBR (*California Bearing Ratio*). Elle est conçue à l'origine pour dimensionner les chaussées souples à assise non traitée, en fonction de l'indice CBR du sol. Pour une chaussée à assise traitée, le principe consiste à définir une épaisseur équivalente de matériau granulaire non traité calculée de la façon suivante : 1 cm de béton bitumineux est équivalent à 1,4 cm de couche de base traitée au ciment, à 3 cm de couche de base non traitée, et à 4 cm de couche de fondation.

Bien que l'on mesure, même sans pousser très loin l'analyse, le caractère extrêmement simplificateur de cette notion, les équivalences réelles dépendant inévitablement de la structure globale dans laquelle chacune des couches est engagée, elle a servi de base à de nombreuses méthodes de dimensionnement des chaussées.

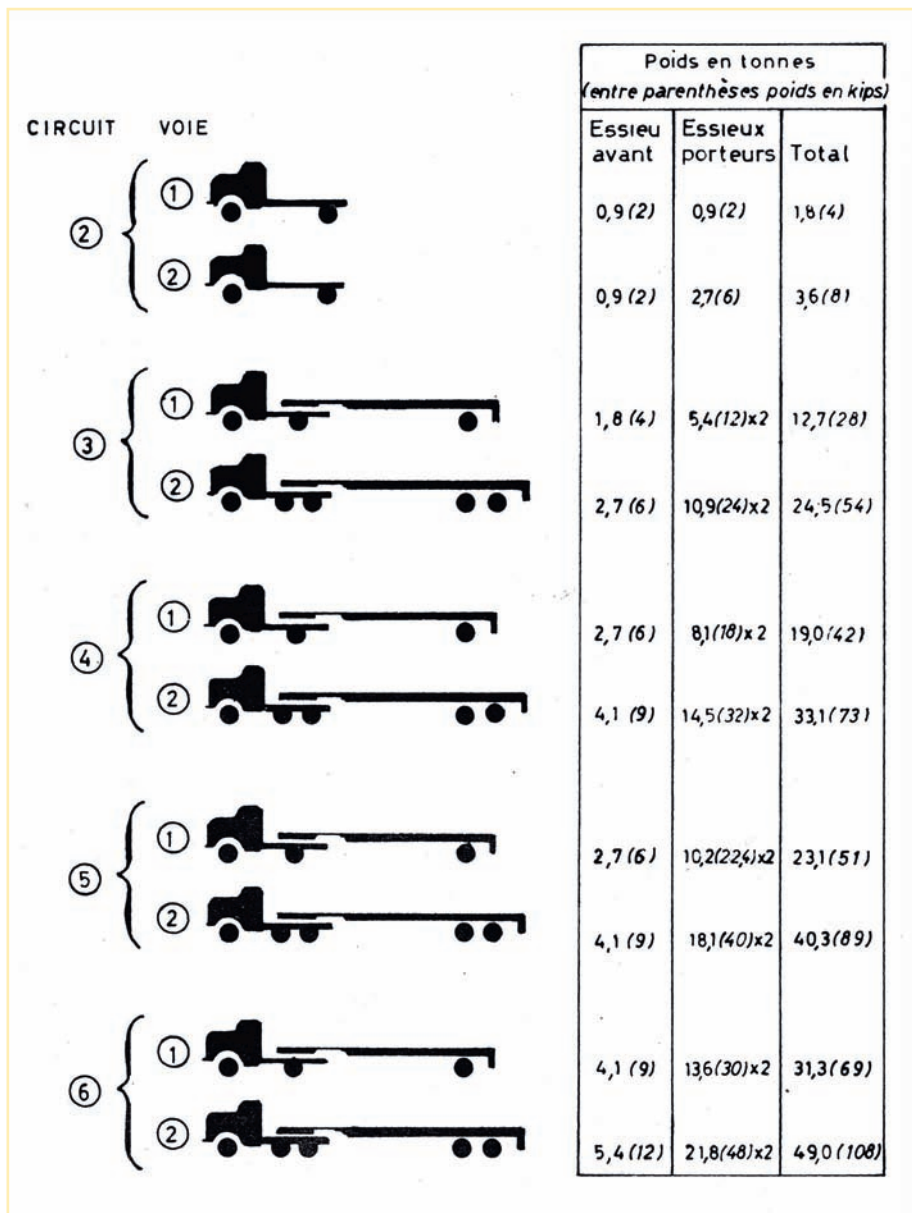


Figure 2
Les chargements appliqués dans l'essai AASHO
Loads applied in AASHO test

AASHO/BIPC

Comme l'ont illustré Claude Peyronne et Gilbert Caroff [9], la voie dans laquelle s'est engagée la France dans les années 1960 s'écarte assez radicalement de l'empirisme qui caractérisait les méthodes américaines à l'époque de l'essai AASHO. Elle est basée, comme vous le savez tous et de façon indissociable, sur :

- l'utilisation de modèles mécaniques pour décrire le système de contraintes qui se développent dans la chaussée au passage des charges ;
- une analyse en laboratoire du comportement des matériaux soumis de façon répétée à ces contraintes ;
- une confrontation des structures sélectionnées aux multiples agressions qu'elles subissent après leur mise en œuvre.

C'est la première étape de ce dernier volet qui sera évoquée au paragraphe suivant, avec la mise en place, à partir de 1967, d'une politique de « sections d'essai ».

La politique des sections d'essai (1967-1980)

Elle s'est concrétisée par la mise en place de deux programmes successifs.

Le premier, qui a débuté en 1967 [10], comportait 30 « sections d'essai », choisies parmi les chantiers courants, en renforcement et en chaussées neuves, chaque section étant représentative d'une technologie déterminée. Deux critères complémentaires étaient également pris en compte :

- une bonne connaissance de l'histoire de la chaussée pour les renforcements,
- une longueur suffisante des sections, pour être représentatives de l'homogénéité d'un chantier, la longueur optimale étant 500 m.

Les 30 sections retenues représentaient les structures suivantes :

- renforcement en enrobés selon la circulaire sur les renforcements de 1965 ;
- renforcements et chaussées neuves en graves traitées aux liants hydrauliques (graves-ciment, graves-laitier, sables-ciment, sables laitier) ;
- renforcements et chaussées neuves en graves-bitume et graves-émulsion.

Chaque section faisait avant, pendant et après les travaux, l'objet d'un programme approfondi de mesures et constatations, réalisées par les Points d'appui renforcements et regroupées au Centre de coordination de Trappes.

L'exploitation en 1972-1973 de ces mesures et constatations se révéla riche d'enseignements sur de nombreux points : évolution des dégradations des matériaux, efficacité du collage de la couche de roulement, épaisseur minimale de la couche de roulement, importance du calage de rive, pertinence des différentes méthodes de suivi, etc.

Cela incita à mettre en place, en 1980, un second programme [11] portant sur 30 nouvelles sections dont certaines représentatives de techniques plus récentes : structures en limon traité avec enduit ou béton bitumineux ; structures en graves-chaux, graves-cendres volantes et béton compacté.

Ces sections ayant fait l'objet d'une prévision de durée de vie établie à l'aide du modèle Alizé, on a pu ainsi apprécier l'efficacité du modèle théorique, et caler un certain nombre de paramètres : valeurs des modules, conditions aux interfaces, qualité résiduelle de l'ancienne chaussée, etc.

Au total, cette politique des sections d'essai a été extrêmement fructueuse. Elle a apporté de très nombreuses améliorations aux directives et recommandations Sétra-LCPC qui, à l'époque, « portaient » l'état de la technique routière.

Une piste d'essai pour le centre de Nantes ?

C'est en 1968, à l'issue du deuxième congrès de Ann Arbor, dont il avait présidé l'une des séances, que Jacques Bonitzer évoque la possibilité d'organiser en France un essai de type AASHO, corrigé de tous les défauts qui avaient caractérisé ce dernier. Il le fait dans le Bulletin de liaison des laboratoires routiers dans les termes suivants [12] :

« Il faut prendre conscience qu'une méthode rationnelle de calcul des chaussées requiert le support d'une expérimentation très poussée et d'une observation prolongée.

Toutefois, les expériences sur chaussées souples soumises au trafic naturel ne permettent pas aisément d'étudier les effets du trafic, c'est-à-dire de répondre à des questions concernant les effets destructifs comparés d'essieux de différentes charges, ceux d'une canalisation plus ou moins grande du trafic, ou encore les interactions trafic/structures. Ces considérations nous ont conduits à envisager une expérimentation beaucoup plus ambitieuse, dont nous ne savons encore si nous pourrions effectivement la réaliser, car cela dépend de la

solution de problèmes techniques et financiers.

Cette expérimentation ressemblerait à certains égards à l'essai AASHO, mais s'en écarterait par certains traits essentiels. Elle utiliserait une chaussée d'essais, en forme de circuit, dont la longueur, au stade actuel de la conception, peut être évaluée de l'ordre de 3500 m. Cette chaussée serait utilisée pour étudier d'abord l'influence des caractéristiques du trafic et secondairement, bien qu'à un degré non négligeable, les caractéristiques de structure. On chercherait d'autre part à augmenter considérablement la fréquence de passage des charges, de manière à pouvoir faire passer en moins d'un an ou deux la totalité du trafic lourd qu'une chaussée supporte normalement en vingt ans. Pour cela, on renoncerait à utiliser comme charges des camions, qui seraient remplacés par des essieux commandés automatiquement, à charge variable, capables d'un petit déplacement latéral en marche (de manière à pouvoir faire passer sur les diverses sections des trafics de composition différente, et plus ou moins canalisés).

Une étude d'avant-projet a permis de préciser certaines caractéristiques que ce manège pourrait avoir... ».

Lorsqu'il fait cette annonce, des études avaient en fait déjà été confiées à la société Seri, Renault engineering, pour concrétiser ces idées. Conduites sous l'autorité de Philippe Léger, elles seront longues et complexes.

La piste d'essai finalement proposée a la forme d'un circuit fermé de 3250 m, comportant deux zones d'essai de 800 m en alignement droit raccordées par des courbes de 250 m de rayon, complétées par une voie déviée de 320 m. Elle comporte comme élément principal, en phase finale, deux voies de 3,50 m séparées par une bande de terrain de 2,50 m, et en phase initiale une seule de ces voies (figure 3).

La charge est appliquée par des essieux montés sur des chariots se déplaçant à 60 km/h, la charge maximale étant de 22 t pour les essieux simples et de 30 t pour les essieux tandems ; l'effort vertical est apporté soit par une charge embarquée sur les chariots, soit par des vérins prenant appui sur un bâti, avec une préférence pour la première, moins complexe.

Les chariots sont équipés de moteurs électriques alimentés par frotteurs. Un système électronique central régule leur plan de marche (vitesse et position sur la chaussée).

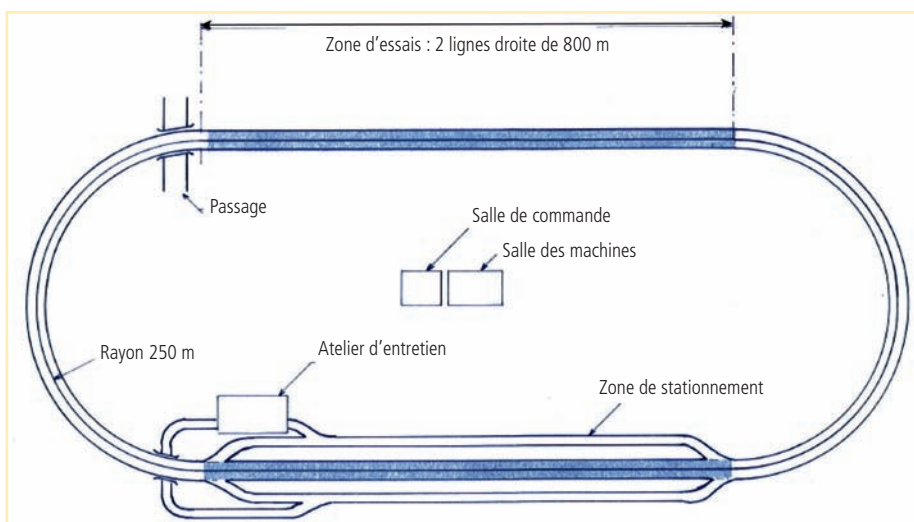


Figure 3
Plan de la piste d'essai envisagée à Nantes
Layout of test track planned at Nantes

Ce dispositif se révèle finalement complexe et coûteux, d'autant qu'au fil des réunions, on tend à lui en demander toujours plus, comme la climatisation d'une partie du circuit pour simuler les périodes de gel.

Cette complexité et ce coût très élevé conduisent finalement à abandonner l'idée de la piste d'essai.

C'est en 1973 que, sous l'égide du département des chaussées et du service du matériel, est rédigée par une équipe constituée de A. de Boissoudy, J. Le Béhec, J. Lucas et G. Rouques, une « étude de faisabilité d'un manège de fatigue des structures routières » établie à partir des réflexions internes au LCPC, des avis des deux Centre d'études et de conception de prototypes (CECP) d'Angers et de Rouen, d'une analyse très complète faite par le groupe C1 du Comité de la recherche routière de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). En conclusion de cette étude, les rédacteurs proposent les grandes lignes de ce que pourrait être un « manège de fatigue des structures routières ».

Ce coup d'envoi sera le bon ! Et ce colloque va maintenant nous permettre de mieux connaître la suite de l'histoire. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 100 ans de routes en France, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA), n° 790, décembre 2000 (www.rgra.fr)
- [2] Daniel Boutet - professeur de routes à l'ENPC, l'état actuel de la technique routière, Sciences et Industries éditeurs, 1944
- [3] Charles Pary, de 1925 à 2005, les invariants, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA), n° 838-839, avril-mai 2005, n° des 80 ans de la RGRA, (www.rgra.fr)
- [4] La piste d'essais routiers de Vincennes – Maison Blanche, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA), n° 70, octobre 1931, (www.rgra.fr)
- [5] R. David, essais de chaussées souples aux USA, la route d'essai du WASHO, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA), n° 293, juin 1956, (www.rgra.fr)
- [6] G. Jeuffroy et J. Bachelez, essai d'explication méthodique des expériences du WASHO, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA), n° 308, septembre 1957, (www.rgra.fr)
- [7] L'essai AASHO, Bulletin de liaison des laboratoires routiers, spécial E, mai 1966
- [8] W. J. Liddle, application des résultats de l'essai AASHO au calcul des chaussées souples, International Conference of Asphalt Pavement, Ann Arbor 1962
- [9] C. Peyronne et G. Caroff, dimensionnement des chaussées, presses de l'ENPC, 1984
- [10] R. Sauterey et M. Siffert, les sections d'essai des chaussées, Bulletin de liaison des laboratoires routiers, janvier-février 1973
- [11] M. Siffert, vérification des méthodes de dimensionnement des chaussées, sections d'essai, sections de suivi des dégradations, bilan statistique des structures, Bulletin de liaison des laboratoires routiers, janvier-février 1988
- [12] J. Bonitzer, Ann Arbor 1967, deuxième conférence internationale, Bulletin de liaison des laboratoires routiers, spécial K, décembre 1968



From AASHO test to fatigue test track

After having described the condition of the French national road network in the wake of the second world war and reviewed the extent to which highway engineering was affected in the decades that followed, the article takes a historical look at the full-scale tests which, before the setup of the fatigue test track, contributed to the advancement of pavement design methods. The author follows with an anecdotic retrospect of the test track built in 1931 in the Bois de Vincennes and the description of two major tests organised in the United States between 1950 and 1960, namely the WASHO and AASHO tests. The first contributed to the development of the Jeuffroy and Bachelez graphs, while the results of the second were somewhat disappointing considering the cost involved. After pointing out the French approach, with an initial look at the test sections completed on the existing network, a description is given of a test track project on the site of the central road research laboratories (LCPC, which became the IFSTTAR). That project was subsequently abandoned because of its excessive cost, and finally the decision was made to build the fatigue test track.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEUR

Jean-Pierre Kerzrêho
Ingénieur de recherche
Institut français des sciences
et technologies des transports
et des réseaux
(IFSTTAR)



Le manège de fatigue en 2013
Fatigue test track in 2013

Implantation et résumé de l'utilisation du manège

Le manège de fatigue des structures routières a été construit sur le site de l'Institut français des sciences et technologies des transports et des réseaux (IFSTTAR) à Nantes, au début des années 1980. Il a été conçu pour tester des structures réelles de chaussées sous trafic poids lourd jusqu'à obtenir de l'endommagement.

Deux mois de rotation peuvent représenter jusqu'à 20 ans de trafic poids lourd subi par une chaussée à moyen trafic (T3 : 150 PL/jour). Un suivi des structures au moyen d'instrumentations diverses et l'observation de l'endommagement sont toujours réalisés. Environ cent trente chaussées réelles ont été testées ; cela a contribué, en même temps que le suivi des sections d'essais sur le réseau routier, à l'apport des connaissances sur l'endommagement des structures routières. L'article rappelle la mise au point du manège et ses principales évolutions, et donne un aperçu de ses différentes applications.

Introduction

Ainsi que l'expose Jean Berthier, le projet initial de piste d'essai de 3,25 km de long, qui aurait permis de tester simultanément un grand nombre de sections routières, n'a pas pu voir le jour, notamment pour des raisons financières. Ce grand manège aurait sans nul doute fourni une base de données très complète sur le comportement au trafic lourd des structures de chaussées, en apportant ce qui manquait à l'essai AASHO (*American Association of State Highway Officials*), à savoir un plus grand nombre de tests sur des structures à couches d'assise traitées (au ciment ou au bitume).

Le projet d'installation d'essais accélérés s'est donc orienté vers le manège actuel, plus modeste, mais avec une capacité de chargement élevée. Après une étude de faisabilité, la décision de le lancer fut prise en 1973. Le tableau 1 rappelle les principales dates liées à la construction du manège. Le projet démarre effectivement à la fin de l'année 1975 quand le LCPC (Laboratoire central des Ponts et chaussées) lance la publicité pour la réalisation d'un manège circulaire. Quatre entreprises ont répondu à cet appel d'offres, les ACB (Ateliers Chantiers de

Bretagne, chantiers navals de Nantes), Latécoère, le Centre de recherches de Pont-à-Mousson Maudières et Creusot-Loire Saint-Chamond. C'est l'entreprise Creusot-Loire qui a été retenue.

	Etapes
1972-1973	Etude de faisabilité d'un manège
Fin 1975	Rédaction du cahier des charges-Demandes budgétaires
Fin 1976	Passation du marché
Milieu 1978	Première réalisation, difficultés d'ordre technique
Début 1982	Achèvement, mise en route

Tableau 1
Principales étapes de la conception du manège
Main stages in design of test track

Entre le stade de l'expression des besoins d'un système d'accélération de l'effet du trafic, de celui du choix du système, de sa réalisation et de la mise à disposition de l'expérimentateur, il s'écoule en général plusieurs années. Le marché du manège a été lancé en 1976. Le cahier des charges fixait les caractéristiques suivantes :

- Il s'agissait de réaliser une installation avec une machine de 40 m de diamètre pouvant se déplacer sur plusieurs sites.

- Les pistes expérimentales devaient avoir une largeur de 6 m au rayon moyen de 17,50 m.
- Les charges applicables à la chaussée devaient être comprises entre 65 et 130 kN avec des versions roue simple, jumelage, tandem.
- La vitesse du manège devait atteindre 100 km/h pour 4 bras lestés à 65 kN et 50 km/h pour 4 bras lestés à 130 kN.
- Le manège devait pouvoir fonctionner sans perturbations avec des relevements localisés de la piste d'essai de 20 cm (avec une pente de 5 %) et la présence de nids-de-poules de 8 cm de profondeur.

La conception du manège a été plus longue que prévu, et a nécessité pratiquement 5 ans ; en effet, certaines performances visées à l'origine se sont révélées difficiles à atteindre sur le plan technique. En particulier, il s'avérait complexe de maintenir une charge constante sur la piste d'essai, quelles que soient les variations de profil de la piste. Durant cette longue période, le contexte routier s'est modifié sur le plan technique et économique, et ce délai n'a pas été sans conséquences sur les axes d'orientation de la recherche à l'aide du manège. De nouveaux matériaux de chaussées ont été mis au point,

les silhouettes et les charges des véhicules lourds ont évolué. Durant les trente ans d'utilisation qui ont suivi, le manège n'a d'ailleurs pas cessé de s'adapter aux évolutions des techniques routières, et de renouveler ses orientations de recherche.

L'installation, de l'origine à la réception (1978-1983)

En 1978, la société Creusot-Loire a construit une première version du manège, qui a fonctionné au milieu de la même année, à la vitesse prévue de 100 km/h. Cette première version de la machine était constituée d'une tourelle centrale, de 4 bras et d'une motorisation électro-hydraulique de 1 000 CV (photo 1). Les bras étaient des poutres en acier mécano-soudé prenant appui sur l'ensemble tournant de la tourelle centrale et sur la piste d'essai, par l'intermédiaire des trains de roulement, fixés à l'extrémité de chaque bras. Chaque train de roulement pouvait recevoir des roues jumelées ou des tandems à roues jumelées. Cette version du manège n'a pu satisfaire aux exigences du cahier des charges qui demandait à ce que le manège puisse circuler à vitesse élevée sur des renforcements de chaussées ou autres dénivellations et défauts d'uni.



Photo 1
Première version du manège, sans les appuis intermédiaires
First version of test track without intermediate supports

Les premiers essais à 100 km/h, sur une dénivellation de 20 cm présente sur un quart d'anneau de la première piste d'essai, avec une rampe de 5 %, ont engendré des ruptures au niveau des trains de roulement ainsi que dans les bras du manège. Il a fallu reprendre les études et apporter des modifications conséquentes à la machine. Les études et essais ont duré jusqu'en 1981. Tout d'abord les bras ont subi des modifications importantes : ils ont été renforcés par des raidisseurs internes et un appui roulant intermédiaire a été ajouté au milieu de chaque bras, pour les stabiliser au passage des dénivellations de la piste d'essais (photo 2).

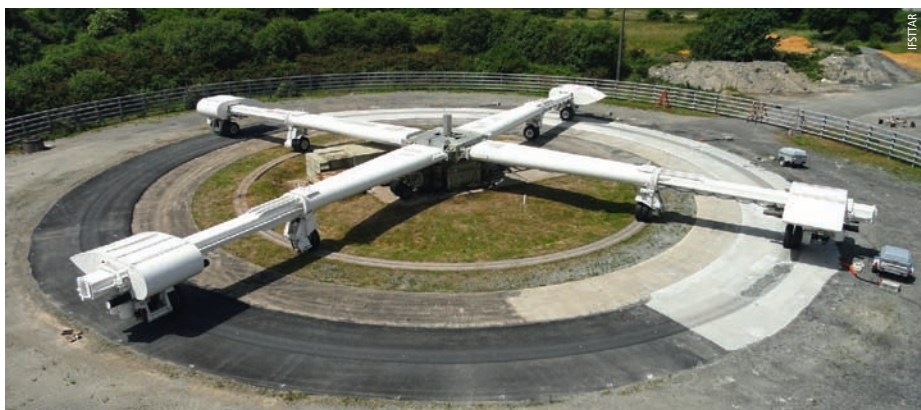


Photo 2
Vue du manège dans sa version finale
View of test track in its final version

Les trains de roulement d'origine appliquant l'effort sur la piste d'essai ont aussi été profondément modifiés. Les nouveaux modules de roulement ont été équipés d'une suspension pneumatique, à grand débattement et à faible raideur pour assurer le maintien le plus stable possible de la charge en cas de dénivellation de la chaussée (figure 1).

Le manège a été terminé fin 1982 et a pu satisfaire, dès 1983, aux essais de réception demandés par le cahier des prescriptions spéciales. Les études sur chaussées ont débuté la même année et l'inauguration a eu lieu en 1984. Le site disposait à l'origine de 2 anneaux d'essai, avec des pistes de 40 m de diamètre.

Le manège, tel qu'il a été mis en service en 1983, avec une vitesse maximum de 100 km/h, et une capacité de l'ordre de 500 000 à 1 million de chargements par mois, était alors l'installation la plus performante de ce type au monde.

Les premières années de fonctionnement ont aussi montré les qualités de la machine :

- fiabilité de fonctionnement ;
- dimensions bien adaptées, avec des pistes de 120 m de long, permettant de tester plusieurs structures simultanément (souvent 4 structures d'une longueur de 30 m), et de réaliser la construction avec de vrais matériels de chantier ;
- capacité de chargement élevée, permettant d'obtenir des résultats rapidement (une expérience dure généralement de l'ordre de 3 à 6 mois) ;
- possibilité, grâce aux 4 bras, de tester simultanément l'effet de charges ou de configurations d'essieux différentes.

La proximité du manège avec la profession routière et les autres activités de recherche sur les chaussées (auscultation, dimensionnement et modélisation, laboratoires matériaux) sur le centre de Nantes ont également constitué un atout important pour son développement.

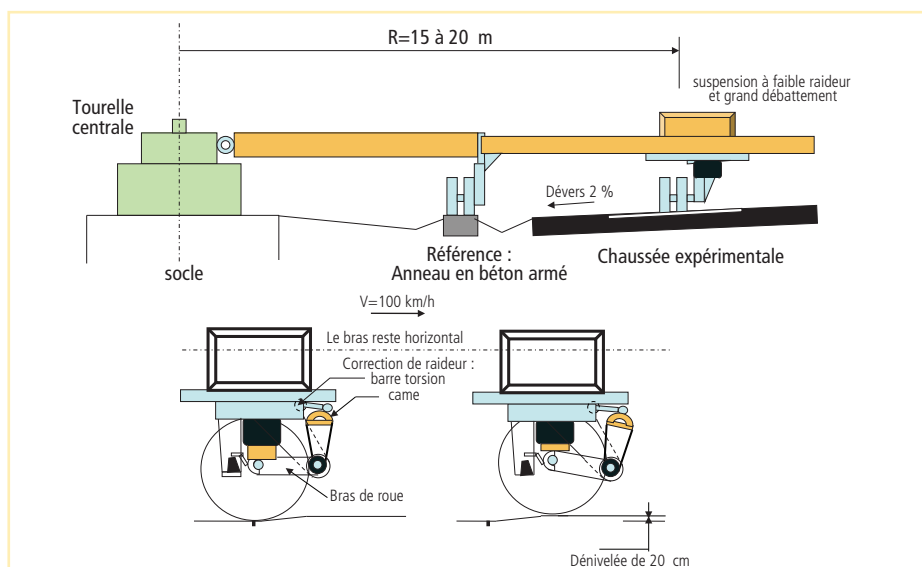


Figure 1
Principe de fonctionnement des bras du manège et des trains de roulement
Operating principle of test track arms and undercarriage

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Les évolutions de l'installation à partir de 1990

Six ans après l'inauguration, en 1990, un anneau d'essai supplémentaire a été mis en service (photo 3). Avec 3 anneaux, on disposait ainsi de plus de facilités pour construire les structures de chaussées, pendant que le manège tournait sur un autre anneau. Dans cette même année les capteurs utilisés pour la translation des trains de roulement, actionnés jusqu'alors par des contacts, ont été remplacés par des capteurs sans contact.



Photo 3
Vue du site du manège, après réalisation du troisième anneau
View of test track site after completion of third ring

Au début des années 1990, les configurations des poids lourds ont majoritairement évolué vers des véhicules avec des remorques de type tridem et tandem. Cela a naturellement conduit, entre 1992 et 1998, à adapter sur les bras du manège des trains de roulement avec tridem (photo 4) et tandem à roues simples (photo 5). Ces types d'essieux multiples ont principalement servi à réaliser des essais de résistance à l'orniérage des couches de roulement. Des matériaux plus résistants à l'orniérage, avec des bitumes à faible susceptibilité thermique, ont ainsi pu être mis au point. Plus récemment, en 2008, une expérience a également été réalisée pour étudier l'effet de différents types de charges (roue simple, jumelage, tandem, tridem) sur le comportement viscoélastique des chaussées bitumineuses.

En 1994, un système de chauffage de la piste du manège a été réalisé, au moyen de projecteurs tungstène-halogène de 100 W placés à proximité de la trace circulée, tous les 65 cm sur un quart d'anneau (photo 6). Ce dispositif augmente les températures des couches de surface bitumineuses jusqu'à 65 °C, alors que sans chauffage, on atteint naturellement 50 à 55 °C en été à Nantes. Ce système de chauffage a été utilisé pour les études sur la résistance à l'orniérage des couches de roulement.



Photo 4
Configuration d'essieux tridem à roues simples
Tridem axle configuration with single wheels



Photo 5
Configuration d'essieux tandem à roues simples
Tandem axle configuration with single wheels



Photo 6
Système de chauffage pour l'étude de l'orniérage
Heating system for rutting tests

En 2002, le dernier anneau du manège s'est enrichi d'un cuvelage en béton. Cet ouvrage circulaire, de 10,40 m de large, 110 m de long et 3 m de profondeur est équipé de puits et de systèmes de pompage permettant de contrôler le niveau de la nappe phréatique dans le sol support, et de faire ainsi varier sa portance (photo 7). Le sol support qui a été mis en place dans le cuvelage est un sable argileux, homogène et sensible à l'eau.



Photo 7
Vue du cuvelage de l'anneau C, permettant le contrôle du niveau de nappe dans le sol support
View of ring C encasement allowing monitoring of water table in subgrade

En 2003, vingt ans après sa mise en service, le manège a bénéficié d'une modernisation importante, avec le remplacement du pupitre de commande par un nouveau système de pilotage entièrement informatisé. Depuis 2011, l'installation peut être commandée à distance au moyen d'un ordinateur via le réseau internet.

De 1981 à 2013, le manège a effectué 14 millions de rotations. Le kilométrage parcouru par chaque train de roulement en extrémité de bras représente environ 1,6 million de kilomètres, soit 40 fois le

tour de la Terre. Ce nombre important de rotations a nécessité, bien entendu, un entretien soutenu de la machine : le rebobinage des moteurs électriques ; la révision des deux pompes principales Hydro-Titan et des quatre moteurs hydrauliques Hågglunds ; le renouvellement des câbles d'arrivée haute tension ; le renforcement des fusées, la réfection de la peinture. Une maintenance préventive est régulièrement réalisée par trois personnes spécialisées dans l'électromécanique et la métrologie (remplacement de pièces d'usure, de capteurs, de systèmes de filtration d'huile, de composants électriques, ...). Les principaux consommables nécessaires au déroulement d'une expérience sont l'électricité, les pneumatiques, l'huile, les roulements, l'instrumentation et la construction des structures.

La conception du manège s'est révélée très robuste, et celui-ci a connu peu d'arrêts depuis sa mise en service. Cette fiabilité est due, en particulier, au fait que la rotation du manège est assurée par deux lignes de motorisation semblables. Lorsqu'un élément (moteur électrique ou hydraulique) ne fonctionne plus sur une ligne de puissance, il est possible de faire fonctionner l'installation avec l'autre ligne, avec une puissance réduite, permettant toutefois d'atteindre 50 km/h en configuration jumelage standard. De plus, les moteurs hydrauliques d'entraînement du manège sont très largement dimensionnés, et fonctionnent à des vitesses de rotation très lentes (quelques tours/minute), ce qui réduit les problèmes d'usure.

Les systèmes d'instrumentation et de suivi des structures

Capteurs ancrés dans les structures

Avec la mise en service du manège, les premiers systèmes de mesure et de suivi des structures ont aussi été mis au point. Les capteurs couramment utilisés sur le manège comprennent :

- Des systèmes de mesure des déformations à différents niveaux, dans les couches de matériaux, au moyen de plusieurs types de jauges d'extensométrie longitudinale et verticale et également au moyen du système d'ovalisation.
- Des capteurs de déflexion dynamique (capteurs de déplacement, ancrés en profondeur), mesurent les déplacements verticaux de la chaussée
- Des capteurs de pression totale pour la mesure des contraintes dans les sols supports de chaussées.

• En ce qui concerne les paramètres environnementaux, des thermocouples ou des sondes platine sont utilisés pour enregistrer les températures. Pour évaluer l'état hydrique dans les graves non traitées (GNT) et les sols, on utilise des capteurs de teneur en eau selon la méthode TDR (mesure de la permittivité électromagnétique par propagation d'ondes), et des tensiomètres permettant de déterminer la pression de l'eau interstitielle (pression positive ou succion).

Autres types d'instrumentation

Ils ont été plus récemment testés sur le manège. Il s'agit :

- Des accéléromètres, qui ont été utilisés à la fois pour suivre les accélérations au niveau des bras du manège, dans le but d'évaluer les variations de charge, et dans des structures rigides (dalles béton), afin de mesurer les battements des dalles au passage des charges. Des géophones ont également été testés pour des applications similaires.
- Des capteurs à fibres optiques, pour le suivi des déformations, et aussi des températures. Ces capteurs passifs qui ne nécessitent pas d'alimentation électrique présentent plusieurs avantages : faible encombrement, pas de dérivation des mesures, durabilité dans la chaussée.

Trois types de capteurs à fibres optiques ont été testés :

- Des capteurs à réseaux de Bragg : comme les capteurs à jauges, destinés aux mesures de déformation localement. Ils atteignent des fréquences d'acquisition élevées (plusieurs kHz), et permettent des mesures sous charge roulantes.
- Des fibres optiques continues : elles suivent les déformations sur toute la longueur de la fibre, sur des distances importantes (70 m avec le système utilisé). En contrepartie, la durée de mesure pour ausculter toute la fibre est assez longue (10 s). Ces fibres sont exclusivement utilisées pour réaliser des mesures sous charge statique, ou sans charge. Elles ont été testées pour détecter l'endommagement des couches de chaussées.
- Des capteurs à fibre optique fonctionnant au moyen de l'interférométrie Fabry-Perot ; ceux-ci sont placés sur des carottes ou des plaques après la construction dans la chaussée (figure 2).

Le manège est un équipement bien adapté pour évaluer de nouvelles méthodes d'instrumentation des chaussées. On est capable à la fois de tester l'aptitude des capteurs à résister aux conditions de mise en œuvre (compactage, et températures élevées des enrobés), et de vérifier leur réponse sous des conditions de chargement contrôlées (niveau de charge, vitesse, température).

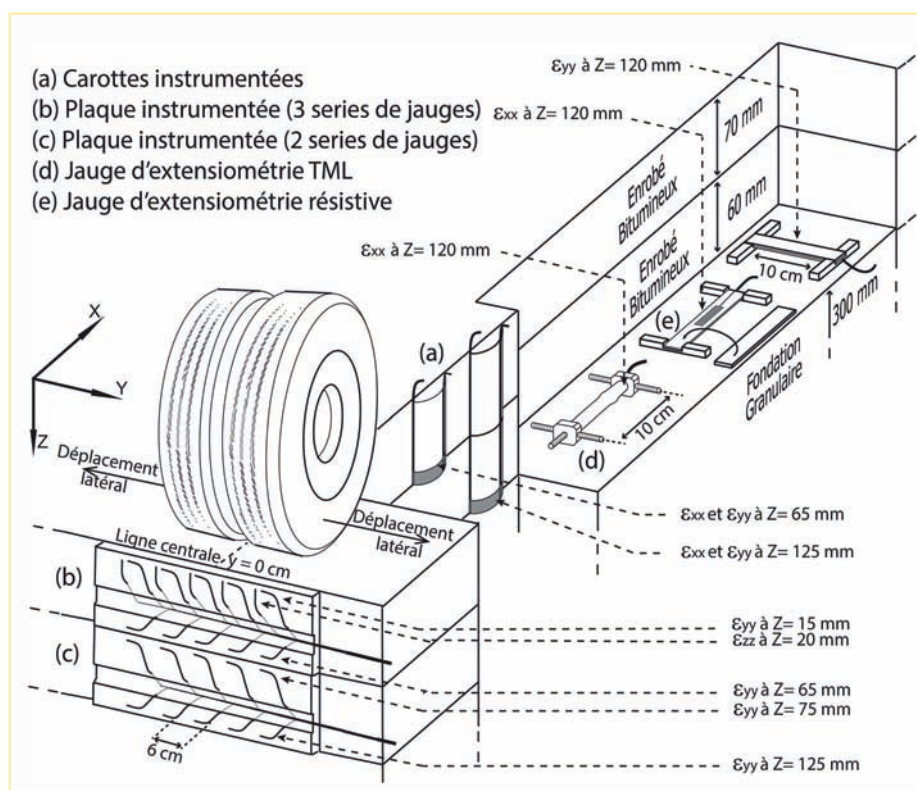


Figure 2
Capteurs à fibres optiques sur carottes et plaques instrumentées et capteurs à jauges résistives
Optical fibre sensors on core samples and instrumented plates, and resistive gauge sensors

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Jusqu'à la fin des années 1980, les systèmes de mesure utilisés sur le manège (capteurs, conditionneurs, dispositifs d'acquisition) étaient entièrement analogiques. Ils suivaient les mesures d'environ 80 capteurs. Les années 1988-1990 marquent l'ère de l'acquisition numérique ; le stockage de l'ensemble des données de mesure, et des traitements de données plus élaborés par ordinateur sont ainsi assurés. Depuis lors, une grande partie des mesures sont sauvegardées et conservées.

Le système d'acquisition des données a été totalement renouvelé sur la période 2008-2011, sur la base de 4 centrales d'acquisition HBM (*Hottinger Baldwin Messtechnik*), avec une capacité totale de 124 voies de mesures pour capteurs à jauges ou LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), plus 76 voies de mesure pour les températures. Des techniques d'acquisition et de transmission de données sans fil (wifi ou par réseau téléphonique 3G) sont également utilisées, selon les besoins. Ces outils d'instrumentation sans fil ont aussi été appliqués à l'instrumentation de sections de chaussées expérimentales, suivies à distance [1].

Méthodes d'auscultation de surface

Dès les premières expériences, les chaussées testées sur le manège ont également été suivies au moyen d'essais d'auscultation, menés à différents niveaux de trafic. Les essais couramment réalisés comprennent : les relevés de fissuration et de profondeur d'ornièrerie, les mesures de déflexion sous charge roulante (poutre Benkelman) ou au déflectomètre à masse tombante FWD (*Falling Weight Deflectometer*) (photo 8).

Compte tenu de ses dimensions, le manège peut accueillir tous les types de matériels d'auscultation. Il est régulièrement utilisé pour la mise au point ou l'évaluation de nouveaux systèmes d'auscultation : radar, méthode de mesure de déflexion sans contact par lumière structurée, méthodes d'auscultation par propagation d'ondes mécaniques. Il constitue un site d'essai bien adapté pour ce type d'évaluation, car il n'est pas soumis aux contraintes d'exploitation d'une chaussée réelle (nécessité d'arrêter le trafic pour la réalisation des mesures).

Aperçu des expérimentations réalisées

En quelques chiffres, au cours de presque 30 années de fonctionnement, le manège a notamment testé :

- 81 structures de chaussées neuves (majoritairement bitumineuses, mais aussi semi-rigides, et en béton),
- 15 techniques d'entretien ou de renforcement,
- 25 couches de roulement, vis-à-vis de la résistance à l'ornièrage,
- des structures de chaussées urbaines (4 expériences),
- des pièces de voiries soumises au trafic (tampons de canalisation, dispositifs de comblement de tranchées),
- 10 sections de 30 m pour l'étude de l'évolution des caractéristiques de surface (résistance à l'arrachement, évolution de la texture).

En 1982, le pilotage des expérimentations a été confié à un comité consultatif comprenant des représentants du LCPC, du SÉTRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements), des Laboratoires régionaux de l'Équipement,

des sociétés d'autoroutes et des sociétés de construction routière. Ce comité a fonctionné jusqu'à la fin des années 2000, et a orienté les expérimentations vers les attentes de la profession. Ensuite, les expériences se sont européanisées et étendues aux demandes des sociétés désirant tester leurs produits sous l'action du trafic des poids lourds. Le financement des essais est toujours assuré par les contrats avec la profession routière. Les frais de fonctionnement de l'installation sont partagés entre les sociétés privées demandeuses, lorsqu'elles utilisent à plusieurs un anneau ; une partie des frais de personnel est également facturée.

Les trois grandes périodes du manège

Les années 1984-1989

Ces premières années ont servi à la mise au point du manège et de ses équipements annexes, et à la validation des différents aspects de la méthode de dimensionnement des chaussées [3]. Durant cette période, plusieurs expériences étaient axées sur l'évaluation du dimensionnement de structures souples (à assise en GNT), semi-rigides (à assise en grave-ciment ou sable ciment) et inverses. L'effet de différents niveaux de charge sur les structures souples a été étudié.

En 1989, un grand essai international a été réalisé dans le cadre du projet *FORCE (First OECD Road Common Experiment)* de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). Ce projet rassemblait 14 partenaires internationaux et a permis de comparer les approches d'instrumentation, les modèles et méthodes de dimensionnement des chaussées de ces différents pays (voir l'article de A.-G. Dumont, dans le présent numéro).

Les années 1990

Cette période a été marquée par une évolution importante des techniques routières, avec la normalisation des matériaux routiers, et la publication de la méthode française de dimensionnement des chaussées [3]. Elle a représenté une période d'activité intensive pour le manège, avec des expériences axées notamment sur :

- Le comportement en fatigue et l'évaluation du dimensionnement des chaussées. Trois expériences sur la fatigue des chaussées bitumineuses ont en particulier été réalisées, en partenariat avec les sociétés d'autoroutes USAP (Union des sociétés



Photo 8
Essai au FWD sur les pistes du manège
FWD testing on test tracks

d'autoroutes à péage). Deux autres expériences ont porté sur la fatigue des chaussées en béton (dalles californiennes, dalles goudonnées, dalles épaisses).

- La résistance à l'orniérage, en liaison avec l'augmentation de l'agressivité du trafic. Six expériences successives ont été menées sur cette thématique, entre 1992 et 1998, toujours en été, en partenariat avec les sociétés d'autoroutes (USAP, devenue ASFA) et plusieurs producteurs de liants. Elles ont permis de mettre au point et d'évaluer différents matériaux anti-orniérants (avec des liants durs ou spéciaux, des additifs, des fibres, ...) [4 à 6].
- L'évaluation de nombreux produits innovants d'entreprises : graves-émulsion, enrobés à froid, grave-mousse, structure tricouche, enrobés à module élevé et très élevé.

Depuis 2000

Cette période a été marquée par l'émergence de nouvelles problématiques, et par une diversification des activités du manège, avec des essais portant notamment sur :

- les matériaux recyclés : évaluation de mâchefers traités au ciment ou à la mousse de bitume, de bétons compactés incorporant des agrégats d'enrobés (AE) ;
- les techniques de renforcement de chaussées : notamment, 2 essais consacrés à l'évaluation d'enrobés renforcés par grilles en fibre de verre [7 et 8] ;
- l'essai européen TROWS (*Tire Road Wear and Slip assessment*) : il vise à évaluer sous circulation de véhicules poids lourds l'usure de plusieurs revêtements et des pneumatiques ;
- les infrastructures urbaines : structures anti-orniérantes pour tramways sur pneus, dispositifs de traversée de voies de tramways, chaussées urbaines démontables en béton, structures béton pour transport en commun intégrant des dispositifs d'alimentation électrique par la chaussée.

Enfin, d'autres applications que les structures de chaussées proprement dites ont été testées :

- évaluation de la résistance au trafic de différentes pièces de voirie : tampons de canalisations, tranchées pour conduites de gaz ;
- nouveaux capteurs pour l'instrumentation des chaussées (fibres optiques) ou évaluation de matériels d'auscultation au moyen de méthodes non destructives [9] (radar, ondes mécaniques) pour la détection de défauts internes des chaussées.

Conclusions

Les études menées au moyen du manège n'ont pas suivi ce qui était envisagé à l'origine, c'est-à-dire bâtir une base de données complète portant sur le dimensionnement des structures de chaussées. Il était prévu de tester de nombreuses structures avec des charges lourdes différentes et de combler ce qui manquait à l'essai (AASHO), à savoir des structures avec des couches de base traitées. Cela aurait demandé plusieurs années, à une époque où le réseau routier évoluait rapidement, avec la publication du nouveau guide de dimensionnement et l'apparition de nouveaux matériaux.

Dans ce contexte en pleine mutation, la priorité a été donnée à l'évaluation de ces innovations (dans le domaine des matériaux, mais aussi des structures). Finalement, le manège a trouvé son équilibre entre les études de mécanique des chaussées (validation de modèles de dimensionnement et méthodes de renforcement), l'appréciation de nouveaux matériaux et concepts de chaussées urbaines, ainsi que les tests de différentes pièces ou éléments de voirie.

Ces études ont toujours apporté de nouvelles connaissances, tant sur la réalisation des structures, puisqu'elles sont élaborées avec du matériel courant de construction routière, que sur leur durabilité. De par l'instrumentation effectuée, les modèles ont pu être ajustés ou complétés par de nouveaux modules pour tenir compte, par exemple, de la viscoélasticité. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sohm J., Kerzrého J.-P., Hornych P., Blanchard J.-Y., Nicolle P., Cottineau L.-M., *Acquisition de données à distance pour évaluer l'état d'une structure de chaussée : la route intelligente*, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 901, mai 2012, www.rgra.fr
- [2] Autret, P., Gramsammer J.-C., Le manège de fatigue du LCPC et l'innovation, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 680, décembre 1990 www.rgra.fr
- [3] LCPC – SETRA, *Conception et dimensionnement des structures de chaussées*. Guide technique, décembre 1994
- [4] Corté J.-F., Brosseau Y., Kerzrého J.-P., Spagnol A., *Etude de l'orniérage des couches de roulement au manège d'essai du LCPC*, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, n° 217, pp 13-30, septembre-octobre 1998
- [5] Corté J.-F., Brosseau Y., Kerzrého J.-P., Spagnol A., *Study of rutting of wearing courses on the LCPC test track*, 8th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement, pp 1555-1569, Seattle, 1997



Setup and use of fatigue test track

The fatigue test track for road structures was set up on the site of the French highway and transport science and technology institute (IFSTTAR) at Nantes in the beginning of the 1980s. It was designed to test, to the point of damage, real pavement structures handling lorry traffic. Two months of rotation can represent up to 20 years of heavy vehicle traffic experienced by a medium-traffic pavement (T3:150 lorries/day). Structural monitoring is carried out by various instrumentation systems with damage observations on a regular basis. About 120 real pavements have been tested and, together with test sections on the road network, have contributed to progress in the understanding of damage undergone by road structures. The article reviews the development of the test track and its main improvements with a look at its different applications.

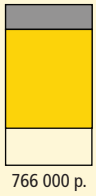
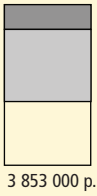
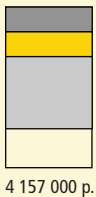
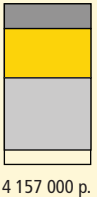
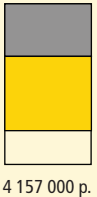
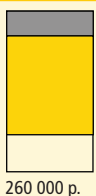
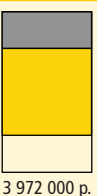
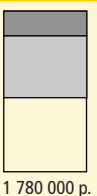






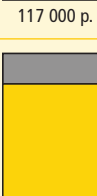

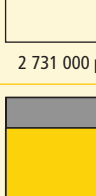
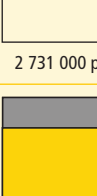
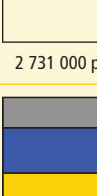
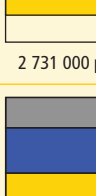
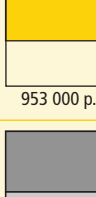
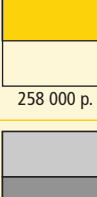
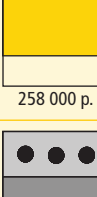
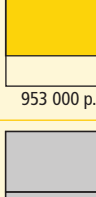
- [6] Corté J., Brosseau Y., Gramsammer J., Tiret L., Caroff G., Spagnol A., *Etude de l'orniérage de couches de roulement, influence du facteur liant et de la configuration des charges roulantes*, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 714, janvier 1994 www.rgra.fr

- [7] Blanc J., Kerzrého J.-P., Hornych P., Joutang J.-L., Bastard N., *Essai en vraie grandeur, sur le manège de fatigue, d'une structure de chaussée renforcée par une géogridde*, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 910, mars 2013 www.rgra.fr

- [8] Kerzrého J.-P., Michaut J.-P., Hornych P., Enrobé armé de grille en fibre de verre soumis à l'action du manège de fatigue du LCPC, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), janvier 2011, n° 890, pp 48 à 51 www.rgra.fr

- [9] Simonin J.-M., Kerzrého J.-P., Hornych P., Gouy M.-T., *Comparison of Non-Destructive Testing methods to detect debonded areas*. Ninth International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRA), 25-27 juin 2013, Trondheim, Norvège

Résumé des structures de chaussées testées sur le manège de fatigue

Nom de l'expérience et partenariat	Date	Structures				Commentaires
B0 LCPC seul 6,5 t et 5 t	19/04/85 au 21/10/86	 5 BB 45 GRH 766 000 p.	 5 BB 24 GC 3 853 000 p.			Deux chaussées à faible trafic équivalentes du point de vue dimensionnement. Essai manège nettement à l'avantage de la chaussée en GC
A1 Scetauroute 6,5 t	24/01/86 au 19/05/87	 12 GB 12 GRH 30 SC 4 157 000 p.	 12 GB 30 GRH 30 SC 4 157 000 p.	 20 GB 30 GRH 4 157 000 p.		Meilleur comportement des structures inverses. Préférable d'avoir une épaisseur de 12 cm GRH afin de conserver le bénéfice de la fondation
B1 OCDE 5 t et 5,75 t	20/12/88 au 06/11/89	 6 BB 30 GRH 260 000 p.	 12 BB 30 GRH 3 972 000 p.	 6 BB 18 GC 1 780 000 p.		Bon comportement de la structure de 12 cm de BB. au passage d'essieu de 115 KN. Les autres structures ont nécessité un entretien
A2 Taxe parafiscale, producteurs de granulats 6,5 t	12/11/89 au 30/03/90	 5 BB 42 GRH ₁ 159 000 p.	 5 BB 42 GRH ₂ 645 000 p.	 5 BB 42 GRH ₃ 117 000 p.	 5 BB 55 GRH ₄ 99 000 p.	GRH1 calcaire tendre. GRH2 : calcaire dur. GRH3 et 4 : microgranite. Bon comportement du calcaire dur
C1 USAP SHELL 6,5 t	06/07/90 au 15/07/91	 8 BB ₁ 40 GRH 2 731 000 p.	 8 BB ₂ 40 GRH 2 731 000 p.	 8 BB ₃ 40 GRH 2 731 000 p.	 2,5 BBTM 12 GB 40 GRH 2 731 000 p.	Meilleur niveau de service de la structure avec 12 GB en couche de base (deux fois moins de fissuration, deux fois moins d'ornière)
A3 COLAS 6,5 t	27/04/90 au 01/10/90	 15 GB ₁ 30 GRH 953 000 p.	 10 GB ₂ 35 GRH 258 000 p.	 4 BB 10 GE 31 GRH 258 000 p.	 4 BB 23 GEC 18 GRH 953 000 p.	Structures ayant eu un comportement acceptable bien que construite sur un support proche de PF1.
A4 Syndicat des bétonniers (chaussée béton) 6,5 t	11/02/91 au 15/04/91	 18 Bm 18 SC 1 100 000 p.	 14 BC 10 Bm 15 SC 1 100 000 p.	 14 BC 10 Bm 15 SC 1 100 000 p.	 15 BC 21 SC 1 100 000 p.	Reproduction correcte des mécanismes de dégradations des chaussées béton. Importance de la résistance à l'érosion des matériaux.

p. signifie passages

C2 USAP SHELL 6,5 t	18/10/91 au 31/12/91	 8 BB ₂ 42 GRH 1 390 000 p.	 8 BB ₁ 42 GRH 1 390 000 p.	 10 GB 40 GRH 1 390 000 p.	 8 BB ₃ 46 GRH 1 390 000 p.	Structure avec 10 GB pas suffisamment épaisse. Niveau de service dégradé sur toutes les structures
A5 Syndicat des bétonniers (chaussée béton) 6,5 t	27/01/92 au 27/05/92 14/10/92 au 14/01/93	 16 BC 10 Bm 15 SC 2 055 000 p.	 16,5 BC 21 SC 2 055 000 p.	 19,5 Bm 18 SC 2 055 000 p.	 16 BC 10 Bm 15 SC 2 055 000 p.	Pas de rupture des structures qui ont une fondation (structures BC-Bm)
C3 USAP 4,25 t et 6,5 t	29/06/92 au 5/10/92	 8 BB ₁ 20 GB 20 GC 256 000 p.	 8 BB ₂ 20 GB 20 GC 256 000 p.	 2 BBTM 8 BB ₃ 20 GB 20 GC 256 000 p.	 8 BB ₄ 20 GB 20 GC 256 000 p.	Orniérage des BB : BB1 (bit 60/70) ; BB2 (bit MG 50/70) ; BB3 (bit 10/20) ; BB4 (bit SBS 40/50) classement : BB3 > BB2 > BB4 >> BB1
C4 USAP 4,25 t	15/06/93 au 3/09/93	 8 BB ₁ 20 GB 20 GC 108 000 p.	 8 BB ₂ 20 GB 20 GC 108 000 p.	 8 BB ₃ 20 GB 20 GC 108 000 p.	 8 BB ₄ 20 GB 20 GC 108 000 p.	Orniérage des BB : BB1 (bit 50/70) ; BB2 (bit MP35/50) ; BB3 (bit 10/20 EME) ; BB4 (bit EVA G7) classement : BB4 > BB3 = BB2 >> BB1
A6 SCREG Grave-Emulsion 4,5 t et 6,5 t	20/10/93 au 24/11/93	 10 GE ₁ 30 GRH 1 940 000 p.	 10 GB 30 GRH 1 940 000 p.	 10 GE ₃ 30 GRH 1 940 000 p.	 10 GE ₄ 30 GRH 1 940 000 p.	Niveaux services équivalents pour GE et GB (nb : murissement insuffisant des GE et GB peu épaisse)
B2 USAP ELF Fatigue Enrobé Ph.3 6,5 t	24/11/93 au 18/04/94	 8 BB ₁ 40 GRH 1 200 000 p.	 8 BB ₂ 40 GRH 2 200 000 p.	 8 BB ₃ 40 GRH 2 200 000 p.	 11 BB ₃ 40 GRH 3 160 000 p.	BB1 (bit. 50/70) BB2 (bit. 50/70 SBS) BB3 (bit. 10/20 EME) BB4 (bit. 10/20 EME) BB2 : résiste bien à la fissuration ; bonne tenue de 11 BB3
C5 USAP Scetauroute Chauffé 4,25 t et 6,5 t	1/08/94 au 7/10/94	 8 BB ₁ 20 GB 20 GC 100 000 p.	 8 BB ₂ 20 GB 20 GC 100 000 p.	 8 BB ₃ 20 GB 20 GC 100 000 p.	 8 BB ₄ 20 GB 20 GC 100 000 p.	Orniérage des BB : BB1 (50/70) BB2 (50/70 secteur chauffé) BB3 (10/20 EME) BB4 (50/70 + 0,8 % déchets câbles) BB4 sensiblement égal à BB3
B3 E.J.L. 4,5 t, 6,5 t et 8,5 t	28/10/94 au 11/03/96	 8 GB 7 BB _{fiss} 40 GRH 2 796 000 p.	 10 GE 7 BB _{fiss} 40 GRH 2 796 000 p.	 10 G Mousse 7 BB _{fiss} 40 GRH 2 796 000 p.	 6 BBTHM 10 G Mousse 6 BBTHM 30 GRH 2 796 000 p.	Grande résistance de la structure 4 (tricolouche) sans dégradations en fin d'expérience

p. signifie passages

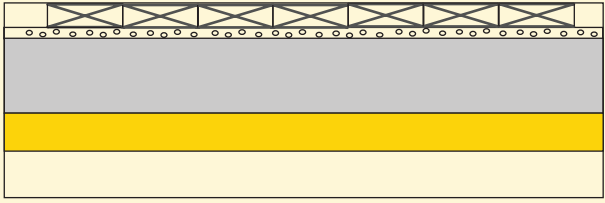
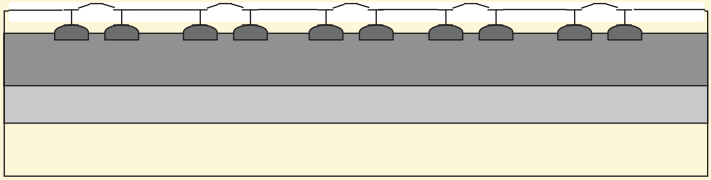
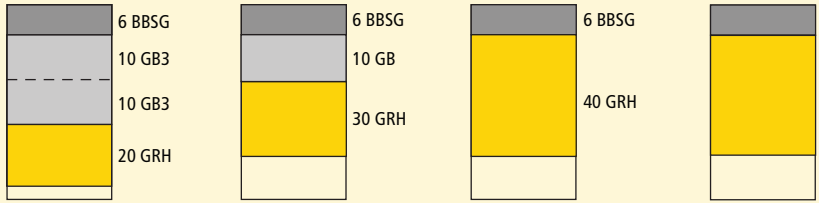
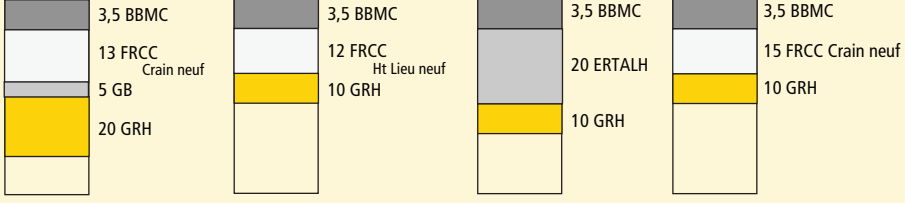
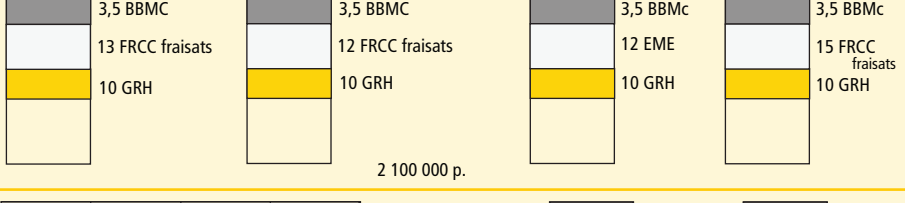
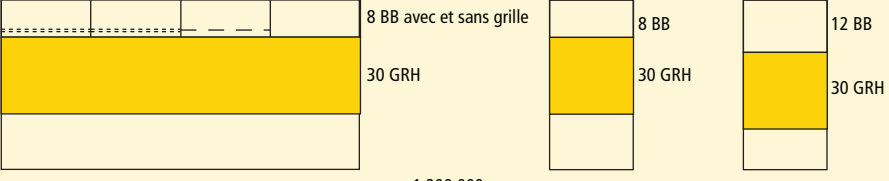
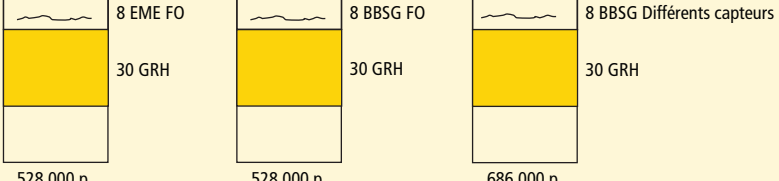

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Nom de l'expérience et partenariat	Date	Structures	Commentaires
A7 TOTAL SCR (APPIA) 6,5 t	2/12/94 au 6/07/95	 13 GB 27 GRH 3 000 000 p.	Bon comportement de l'EMTE en épaisseur d'au moins 9 cm. Comportement attendu de la GB avec faible fissuration.
	 3 BBM 16 GC 20 GRH 600 000 p.		
	 9 EMTE 2 SB 30 GRH 3 000 000 p.		
C6 ASFA 4,25 t et 6,5 t	8/07/96 au 6/09/96	 8 BB ₁ 20 GB 20 GC 100 000 p.	Orniérage BB : BB1 : référence BB2 : 0,8% fibres récup BB3 (EME) BB4 : 0,3 % fibres verre BB3 > BB2 = BB4 > BB1
	 8 BB ₂ 20 GB 20 GC 100 000 p.		
	 8 BB ₃ 20 GB 20 GC 100 000 p.		
	 8 BB ₄ 20 GB 20 GC 100 000 p.		
C7 Michelin SHELL (Roue très large) 7,3 t	08/07/97 au 25/09/97	 8 BB ₁ 20 GB 20 GC 100 000 p.	Comparaison de pneus différents quant à l'orniérage sur des BB de formulations différentes
	 8 BB ₂ 20 GB 20 GC 100 000 p.		
	 8 BB ₃ 20 GB 20 GC 100 000 p.		
B4 SHELL TOTAL BP ASFA Tridem 4,25 t	7/07/98 au 20/08/98	 8 BB ₁ 40 GB 40 GRH 150 000 p.	Orniérage BB : Sollicitation sous l'effet du tridem. BB1 référence, avec orniérage. Très bon comportement des 3 autres planches BB (Mf ; HIP ; Ornital)
	 8 BB ₂ 40 GB 40 GRH 150 000 p.		
	 8 BB ₃ 40 GB 40 GRH 150 000 p.		
	 8 BB ₄ 40 GB 40 GRH 150 000 p.		
A8 OPTTEL Optimisation des émulsions à prise lente 4 t et 6,5 t	14/06/99 au 31/12/00	 10 GE ₁ 30 GRH 1 050 000 p.	Mûrissement de 4 mois par temps chaud et sec pour GE3 et GE4 a été avantageux, contre un mûrissement de 2 mois pour GE1, GE2
	 10 GE ₂ 30 GRH 1 050 000 p.		
	 10 GE ₃ 30 GRH 1 050 000 p.		
	 10 GE ₄ 30 GRH 1 050 000 p.		
B5 GIE T.V.M. SCREG EIJ GERLAND 3,5 t à 5 t	12/07/99 au 08/09/99	 10 BB 40 GB 40 GRH 100 000 p.	Orniérage BB : trafic canalisé tramways sur pneus (roues Translohr, Civis, TVR). Bon comportement de tous les tapis minces. Orniérage des 10 BB référence
	6BB et Salviacim 		
	6BB : 0/10 		
	6BB : 0/14 		
	2,5 BBTM 		
	2,5 BTM 		
	4,5 Metallflex 		

p. signifie passages

<p>B6</p> <p>MTQ HERITAGE (USA) LCPC</p>	<p>01/08/00 au 15/09/00</p>		<p>Orniérage BB. Comparaison des mélanges (formulations avec mêmes matériaux) Avantage à la formule qui retient la remontée de mastic</p>
<p>A9</p> <p>EUROVIA LCPC</p>	<p>01/09/00 au 28/02/01</p>		<p>Utilisation des mâchefer traités. Bon comportement des mâchefer traités à la mousse de bitume</p>
<p>B7</p> <p>TROWS (Tire ROads Wear and Slip assessment)</p>	<p>01/02/01 au 31/08/01</p>		<p>Evaluation de l'usure de 3 revêtements soumis au même trafic. Approche du revêtement le plus agressif sur l'usure des pneumatiques.</p>
<p>C8</p> <p>DR1 LCPC</p>	<p>01/06/03 au 31/10/03</p>		<p>Structures minces bien dimensionnées du point de vue de l'orniére : Structure bitumineuse épaisse : dure plus longtemps ce que qui est indiqué par la méthode de dimensionnement</p>
<p>C9</p> <p>DR2 LCPC</p>	<p>01/06/04 au 31/12/04</p>		<p>Structures identiques à celles de l'essai précédent mais avec nappe haute (comportement des structures assez proche de l'expérience précédente) (sol fortement compacté)</p>
<p>C10</p> <p>FORMAT</p>	<p>04/11/03 au 31/07/09</p>		<p>L'utilisation d'une grille sur un support ayant un potentiel structurel posée à l'interface BBTM-BBfiss retarde la remontée de fissures</p>
<p>C11</p> <p>St GOBAIN Pont à Mousson</p>	<p>27/10/03 au 17/10/04</p>		<p>Test de 9 tampons en fonte (prototypes). Fractures observées en coin.</p>
<p>C12</p> <p>GDF Recherche</p>	<p>19/01/04 au 07/10/04</p>		<p>Tranchées de différentes profondeur contenant des canalisations de gaz. Comblement des tranchées au moyen d'un béton autoplaçant avec vides communicants</p>

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Nom de l'expérience et partenariat	Date	Structures	Commentaires
C13 CUD	09/03/05 au 26/06/06	 <p>Dalles hexagonales 20 cm 5 Graviers 38 GC réexcavable Blocage + GNT</p> <p>133 000 p.</p>	Chaussées urbaines démontables dans le but de pouvoir intervenir sur réseaux sous chaussées rapidement.
C14 ALSTOM	26/06/06 au 07/01/08	 <p>17 BC 26 BC5 19 BC3</p> <p>1 300 000 p. (12 passages à niveau)</p>	Tests sur passages à niveaux avec rails servant d'alimentation aux tramways. Chaussées à proximité des rails réalisées avec plusieurs techniques.
C15 Agressivité Tridem Tandem Jumel.	01/01/08 au 01/08/09	 <p>6 BBSG 10 GB3 10 GB3 20 GRH</p> <p>6 BBSG 10 GB 30 GRH</p> <p>6 BBSG 40 GRH</p> <p>6 BBSG 40 GRH</p> <p>111 000 p.</p>	Etude du comportement de structures bitumineuses sous tandem et tridem (réponse des capteurs). Peu de charges, pas de dégradations
C16 Recyroute	01/08/09 au 28/02/11	 <p>3,5 BBMC 13 FRCC Crain neuf 5 GB 20 GRH</p> <p>3,5 BBMC 12 FRCC Ht Lieu neuf 10 GRH</p> <p>3,5 BBMC 20 ERTALH 10 GRH</p> <p>3,5 BBMC 15 FRCC Crain neuf 10 GRH</p> <p>2 100 000 p.</p>	Test de chaussées composites. Procédé de béton compacté fibré FRCC. (Fiber-reinforced-roller-compacted-concrete)
C17 Recyroute	01/08/09 au 01/02/11	 <p>3,5 BBMC 13 FRCC fraisats 10 GRH</p> <p>3,5 BBMC 12 FRCC fraisats 10 GRH</p> <p>3,5 BBMC 12 EME 10 GRH</p> <p>3,5 BBMC 15 FRCC fraisats 10 GRH</p> <p>2 100 000 p.</p>	Test de chaussées composites. Procédé de béton compacté fibré FRCC utilisant des fraisats d'enrobé.
C18 St GOBAIN géogrilles + Thèse D. Grellet (U. Laval)	01/02/11 au 01/06/11	 <p>8 BB avec et sans grille 30 GRH</p> <p>8 BB 30 GRH</p> <p>12 BB 30 GRH</p> <p>1 200 000 p.</p>	Chaussées bitumineuses. Une des géogrilles utilisées a empêché la fissuration. Structures 2 et 3 : test de nouvelles instrumentations
C19 COLAS FO + Instrumentation	01/06/12 au 30/05/13	 <p>8 EME FO 30 GRH</p> <p>8 BBSG FO 30 GRH</p> <p>8 BBSG Différents capteurs 30 GRH</p> <p>528 000 p. 528 000 p. 686 000 p.</p>	Expérience visant à tester des capteurs à fibres optiques.
A10 Bombardier	01/11/12 au ...	 <p>5 dalles 25 cm 2 coulis 8 BB 17 GRH 30 Scorcan</p>	Dalles de béton contenant des systèmes électriques destinés à alimenter les bus dans les zones d'arrêt en milieu urbain.

p. signifie passages

AUTEURS

Bernard Héritier
Jean-Claude Vaniscote
François Olard
Direction technique
Eiffage Travaux Publics



Vue générale du manège (Recyroute)
General view of test track (Recyroute)

Le manège de fatigue : les expérimentations avec Eiffage

Eiffage Travaux Publics a participé à deux expérimentations sur le manège de fatigue : la première porte sur le développement d'un liant développé par TOTAL associé à un nouveau concept d'enrobé à fort pouvoir structurel, l'EMTE® ; la seconde concerne deux matériaux traités aux liants hydrauliques, FRCC® avec un fort dosage en liant hydraulique et incluant des fibres métalliques et ERTALH®, mélange de liant hydraulique et de fraisats d'enrobés. Au-delà des objectifs atteints dans les deux cas, les expérimentations ont été riches d'enseignement pour la compréhension du comportement des chaussées et des matériaux et pour valider les conditions de mise en œuvre.

Introduction

Le processus d'innovation de produits ou de procédés se décompose en une succession d'étapes qui vont de la genèse de l'idée à la réalisation et la validation sur le terrain. Dans le domaine de la route, les outils disponibles sont de plusieurs types :

- les essais de laboratoire avec l'expérimentation sur échantillon, sur éprouvette ou sur maquette,
- l'expérimentation *in situ*, sur section d'essai qui mobilise des moyens et des budgets plus importants,
- l'observation dans le temps de sections d'essais, qui permet de valider l'expérimentation.

Il s'agit d'une démarche globale avec des coûts et des prises de risque variables. Elle correspond globalement aux processus qui existent en France :

- mise au point d'un produit par une entreprise ou un fournisseur,
- expérimentation dans un cadre connu, charte innovation ou projet de recherche,
- suivi dans le temps, soit dans le cadre de la charte, soit avec des investigations régulières dans un cadre partenarial.

Dans ce contexte, le manège de l'IFSTTAR est un outil essentiel pour la validation d'un produit ou d'un procédé.

Cet article présente deux projets dans lesquels Eiffage Travaux Publics s'est fortement impliquée :

- Le premier porte sur un liant bitumineux, développé par TOTAL en partenariat avec SCR⁽¹⁾ et le LCPC. C'est un projet réalisé il y a presque 20 ans et il est décrit en détail.
- Le second concerne des mélanges à base de liant hydraulique, FRCC® et ERTALH®, étudiés dans le cadre d'un projet de l'Agence nationale pour la recherche (ANR) qui vient de s'achever. Il est présenté dans ses grandes lignes. Ces deux expérimentations ont fait l'objet de publications détaillées [1 à 4].

L'expérimentation EMTE®

Il s'agit d'un projet initié par TOTAL qui a développé un bitume innovant : Modulotal®. Pour passer de l'étape laboratoire et formulation du matériau à l'étape chantier et mise en œuvre, TOTAL s'est associée à SCR⁽¹⁾ (Eiffage) et au LCPC (devenu IFSTTAR) pour l'expérimentation sur le manège.

⁽¹⁾SCR : filiale routière d'Eiffage ; au moment de l'expérimentation, TOTAL était actionnaire du groupe Eiffage

Par la suite, TOTAL et SCR ont proposé l'enrobé EMTE® dans le cadre de la charte innovation [2].

Propriétés recherchées pour le Modulotal

Caractéristiques de l'EMTE®

Le produit correspondant au bitume Modulotal® est un enrobé à haut pouvoir structurel. La gamme existante à cette époque est celle des enrobés à module élevé, EME (NF EN 131 08-1) [6]. Le projet a pour but de développer un produit à module plus élevé, l'EMTE®. Le concept proposé correspond à un matériau décrit comme idéal [1] : «... Le matériau d'assise idéal présente une rigidité aussi élevée que possible tout en offrant une bonne résistance à la fatigue mécanique et à la fissuration thermique».

Les matériaux couramment utilisés à cette époque, et qui le sont encore aujourd'hui, sont les suivants :

- Les matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) qui ont des modules élevés, (25 000 MPa pour un grave-ciment, GC), (14 000 MPa pour un EME2) mais qui sont sujets à la fissuration transversale.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

• Les enrobés bitumineux dont les modules (15 °C – 10 Hz) restent limités et n'atteignent pas les objectifs recherchés.

Les objectifs de la démarche

Le développement complet du produit doit satisfaire trois objectifs principaux :

- Positionner l'EMTE® en termes de dimensionnement, en particulier fixer les valeurs de référence pour le dimensionnement des chaussées et les coefficients de calage.
- Etudier les modes de dégradations sur le manège pour analyser le comportement du matériau (rigide ou souple).
- Valider les conditions de mise en œuvre. L'évolution du matériau, en prenant en compte les conditions de mise en œuvre et l'influence du climat sera par la suite observée sur des sections d'essais et dans le cadre de la charte innovation.

Caractéristiques des matériaux

Les trois matériaux d'assises qui ont fait l'objet de l'expérimentation sur le manège sont : l'EMTE®, la grave-ciment (GC) et la grave-bitume (GB).

Les matériaux bitumineux, EMTE® et GB 0/14, ont été directement soumis aux sollicitations du manège, sans couche de roulement. La GC a été recouverte d'un BBM 0/10.

Il est à noter que sous l'EMTE®, un sable enrobé 0/6 a été mis en œuvre, pour des raisons évoquées au paragraphe suivant.

L'EMTE® 0/14

- Les granulats constitutifs de l'EMTE® 0/14 proviennent de la carrière de La Meilleraie, de même nature que ceux utilisés pour les essais de laboratoire.
- Le bitume est le Modulotal® TE, bitume dur d'une pénétration de 0/10.
- Le dosage en liant est de 6,5 ppc, une valeur élevée pour obtenir une bonne tenue en fatigue, sans risque d'orniérage.

• Le module mesuré en traction compression à 15 °C – 10 Hz est de 25 000 MPa, du même ordre que celui d'une GC.

Les résultats de ces essais de fatigue sont portés sur le tableau 1.

La grave-bitume

Le matériau choisi est celui qui est usuellement utilisé sur le manège pour conserver une référence unique :

- GB 0/14 - classe 3 (NF P 98-138) [5],
- granulats : carrière de La Noubleau,
- bitume : 50/70,
- dosage : 4,6 ppc,
- filler d'apport (Airvult) : 2 ppc.

La grave-ciment

La grave-ciment est une GC 0/20 avec un ciment CPA 55 de la cimenterie de Saint-Pierre-La-Cour, dosé à 3,6 ppc.

Les granulats proviennent de la Carrière des Maraîchers.

Le teneur en eau du mélange est de 7 ppc avec ajout d'un retardateur de prise, dosé à 0,8 ppc.

Structures du manège

Les structures des trois secteurs du manège ont été construites sur un massif de sable argileux de faible portance surmonté d'une couche de sable-ciment fracturé.

Les dimensionnements ont été établis pour avoir les premières fissures autour de 500 000 chargements d'un jumelage de 65 KN et une durée de vie de 3 000 000 chargements.

Les conditions de l'expérimentation, en particulier la chute de portance du sable argileux due aux fortes précipitations, ont modifié le déroulement des essais, comme précisé ci-après.

Caractéristiques des structures

Les structures théoriques sont décrites dans le tableau 2 et leur positionnement est en figure 1.

Localisation	Zone	Structure	Epaisseur
Secteur I	Grave-bitume	GB	13 cm
		GRH	27 cm
		SC	10 cm
Secteur II	Grave-ciment	BBM	3 cm
		GC	16 cm
		GRH	21 cm
		SC	10 cm

Tableau 2
Structures
Structures

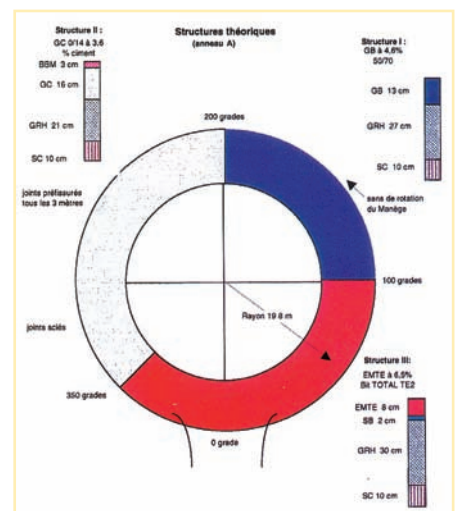


Figure 1
Implantation des secteurs
Arrangement of sectors

Construction du manège

La construction a été faite entre septembre et octobre 1994 [1].

Matériaux	EMTE®			GB		
	Type d'essai	Traction - Compression	Flexion 2 points	Traction - Compression	Flexion 2 points	Flexion 2 points
Provenance des matériaux	De la centrale compacté en laboratoire	Extrait de la piste, zone non circulée, en fin d'essai	Extrait de la piste, zone non circulée, en fin d'essai	Extrait de la piste, zone non circulée, en fin d'essai	Extrait de la piste, zone non circulée, en fin d'essai	Extrait de la piste, zone non circulée, en fin d'essai
Température en °C	15	15	15	10	15	15
Fréquence en Hz	25	25	25	25	25	25
Pente	-0,1	-0,16	-0,124	-0,18	-0,17	-0,17
$\epsilon_6 \cdot 10^6$	85 ± 16	136 ± 7	79 ± 16	94 ± 8	113 ± 10	113 ± 10
SN	0,84	0,37	0,57	0,44	0,35	0,35
Pente	-0,09					
σ_6 MPa	2,2 ± 0,2					
SN	0,57					

Tableau 1
Essai de fatigue EMTE® et GB
EMTE® and GB fatigue tests

Le support : sable argileux/sable ciment/GRH

La portance du support est faible et le sable ciment est micro-fissuré. La GRH sert à homogénéiser le support comme on peut le constater dans le tableau 3.

Secteurs	I - GB	II - GC	III - EMTE®
Déflexion (1/100 mm)	200	170	165
Ecart-type (1/100 mm)	14	26	8

Tableau 3
Déflexions du support
Subgrade deflections

Secteur I : grave-bitume (GB)

L'épaisseur mesurée est de 13,2 cm pour une valeur théorique de 13 cm.

Secteur II : grave-ciment (GC)

- La GC a été mise en œuvre avec une épaisseur théorique de 16 cm et une pré-fissuration au pas de 3 m. La compacité moyenne était de 97 % et la déflexion moyenne à 15 jours de 37/100 mm.
- L'épaisseur réelle à l'"autopsie" du secteur était de 15 cm.
- Le BBM 0/10 a été mis en œuvre en 3 cm, sans couche d'accrochage.

Secteur III : EMTE®

- Une disposition constructive a été retenue pour éviter une amorce locale de fissuration avec la mise en place d'un sable bitume 0/6 en 2 cm d'épaisseur.
- Compte tenu de la nature particulière du bitume (pénétrabilité 0/10), la température d'enrobage est voisine de 200 °C. Après compactage avec le compacteur à pneus (pour être sûr d'obtenir les compacités), il faut effacer les traces des pneus avec un compacteur vibrant sans générer de fissuration.

Comportement des chaussées

Les conditions de l'essai ont été particulières. Les températures sont restées dans des fourchettes normales pendant l'expérimentation. Cependant, les précipitations ont été très abondantes et ont provoqué une remontée de la nappe à - 1 mètre pour une position initiale à - 2 mètres, ce qui a provoqué une forte chute de portance et une rupture de la GC sur le dernier tiers avec un fort endommagement dès 550 000 chargements d'essieu de 65 KN.

La photo 1 regroupe quatre vues du manège :

1. Mise en œuvre de l'EMTE®,
2. Etat de l'EMTE® d'épaisseur < 8 cm après 1 900 000 de chargements,
3. EMTE® d'épaisseur > 8 cm après 3 000 000 de chargements,
4. GC après 550 000 chargements.

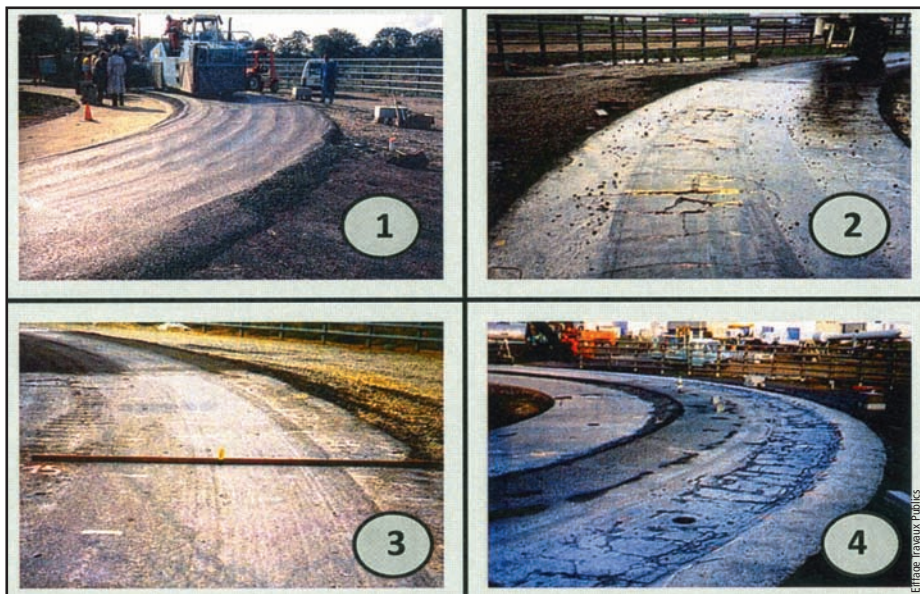


Photo 1
Expérimentation EMTE® [1]
EMTE® trials [1]

Comportement du secteur bitumineux (GB et EMTE®)

Le type de fissuration n'est pas le même pour la GB et l'EMTE®. Les fissures de l'EMTE® sont plus franches, caractéristiques d'un matériau plus rigide.

La fissuration de la GB est conforme aux prévisions (figure 2).

En ce qui concerne l'EMTE®, deux cas sont à considérer :

- Pour une épaisseur inférieure à 8 cm, la fissuration est forte à partir de 1 900 000 chargements (photo 2/n°2) et figure 3.
- Pour une épaisseur supérieure à 8 cm, à 3 000 000 de chargements, les fissurations restent localisées (photo 2/n°3) et figure 3.

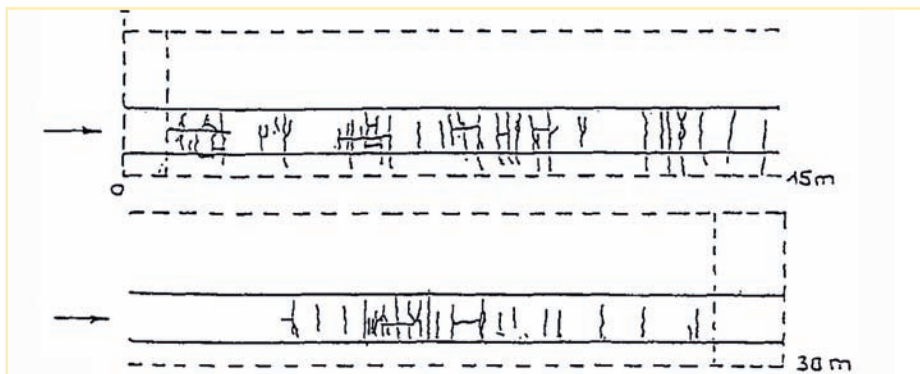


Figure 2
GB : fissuration à 3 millions de chargements [1]
GB: cracking after 3 million loads [1]

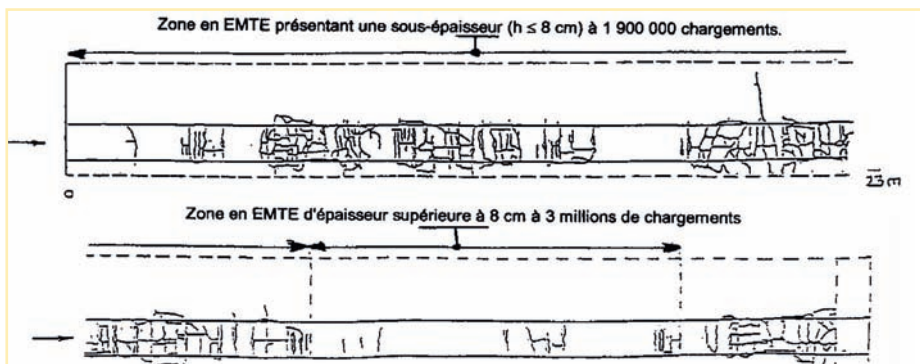


Figure 3
EMTE® : état final de la fissuration [1]
EMTE® : final condition of cracking [1]

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

L'uni transversal évolue peu pour la GB ou l'EMTE® d'épaisseur supérieure à 8 cm. Par contre, la profondeur moyenne d'ornièrre est supérieure à 1 cm pour l'EMTE® d'épaisseur inférieure ou égale à 8 cm.

Les déflexions (figure 4) évoluent peu sur les zones qui ne se dégradent pas (GB et EMTE® > 8 cm). Elles augmentent sur la zone ou EMTE® < 8 cm, qui se dégrade.

Comportement du secteur en grave ciment (GC)

Avec la remontée de la nappe, la fissuration s'est produite rapidement, la GC étant complètement fissurée à 550 000 chargements (photo 2/n°4) et figure 5.

L'uni transversal se dégrade également avec plus de 1 cm de déformation transversale due en partie à la grave ciment et au BBM qui n'est pas collé sur son support.

Les déflexions (figure 4) sur la GC atteignent 140 à 150/100 mm, ce qui est incompatible avec la tenue mécanique du matériau.

Entretien de la GC

Rappelons qu'au début de l'expérimentation, les déflexions mesurées sur la GC au jeune âge (15 jours) étaient de 36/100 mm. Avec la remontée de la nappe et la chute de portance du sable argileux, la forte augmentation de la déflexion a provoqué l'arrêt de l'expérimentation.

La solution proposée par Eiffage (SCR) consiste à mettre en œuvre sur la GC un complexe anti-fissure, constitué de :

- 2 cm de sable bitume 0/6 riche en liant fortement modifié (polymère SBS), le Biprène 65 (9,5 ppc),
- 4 cm de Tapiprène, BBM 0/10 avec un liant modifié Biprène 63 (5,90 ppc).

Cette solution s'est avérée très performante, avec un comportement satisfaisant pour le reste de l'expérimentation soit 2 450 000 chargements. C'est un cas unique (et imprévu) de validation de cette technique d'entretien « anti-fissures » sur le manège.

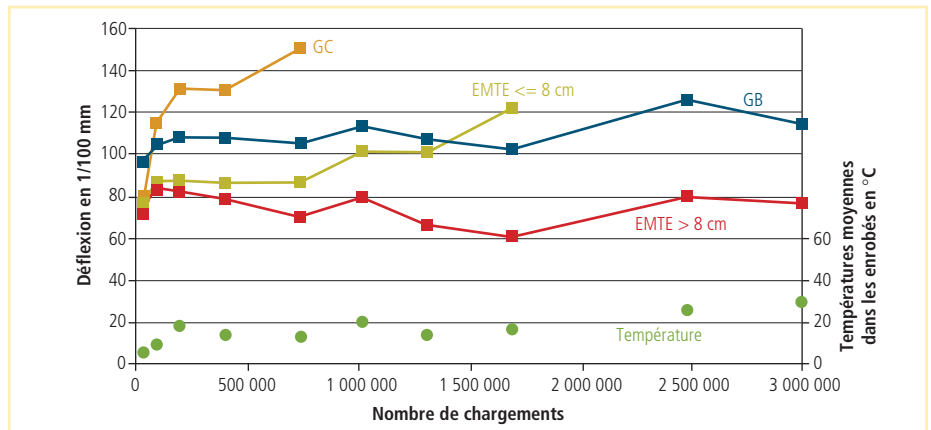


Figure 4
Evolution de la déflexion moyenne – essai de 65 KN
Evolution of average deflection – 65 KN axle

D.R.

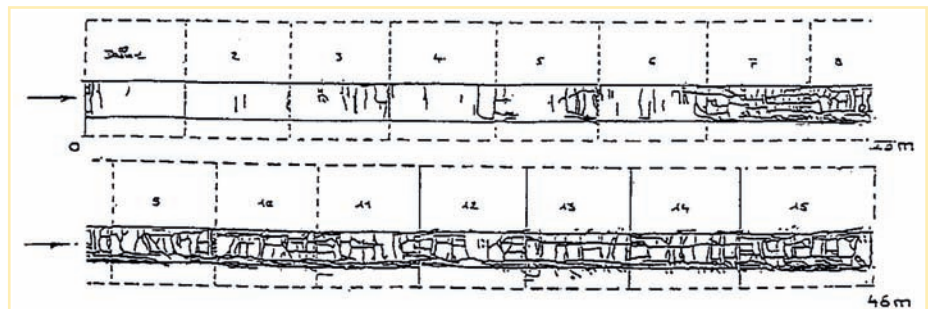


Figure 5
GC : état final de la fissuration à 550 000 chargements
GC: final condition of cracking after 550,000 loads

D.R.

Modélisation des structures et coefficients de calage

La modélisation des structures est faite en couplant les données issues du calcul inverse à partir des données du déflectomètre à masse tombante (*Falling Weight Deflectometer, FWD*), des valeurs issues des essais de laboratoire et des hypothèses usuelles concernant les matériaux de chaussée.

Les tableaux 4 et 5 donnent les valeurs de modélisation calculées pour la GB et l'EMTE®.

Coefficients de calage et équivalences entre matériaux

La GB est un matériau de référence et il est important pour tout nouveau matériau d'assise de le positionner par rapport à cette référence.

Le coefficient de calage manège (dénomination LCPC-IFSTTAR), ou Cc man, est calculé à partir de l'équation générale de dimensionnement des chaussées neuves [1]. Il traduit l'écart entre le comportement théorique du matériau et son comportement réel sur le manège. Ce coefficient est en moyenne de 1,1 pour l'EMTE® et de 1,6 pour la GB.

Structure grave-bitume			
Nombre de passages		35 000	95 000
Température lors des essais		5 °C	9 °C
Matériaux	h (m)	E (MPa)	E (MPa)
GB	0,132	11 200	8 200
GNT	0,27	200	200
SC	0,10	500	500
Sol	4,00	17,5	16

Tableau 4
Modélisation de la structure GB
Modelling of GB structure

Nombre de chargements	Structure EMTE®			Structure EMTE®		
	35 000	95 000		35 000	95 000	
Température lors des essais	5 °C	9 °C		5 °C	9 °C	
Matériaux	h (cm)	E (MPa)	E (MPa)	h (cm)	E (MPa)	E (MPa)
EMTE®	6,5	25 000	23 000	9,5	25 000	23 000
SE	2	4 600	3 300	2	4 600	3 300
GNT	30	200	200	30	200	200
SC	10	500	500	10	500	500
Sol	400	21	21	400	21	21

Tableau 5
Modélisation de la structure EMTE®
Modelling of EMTE® structure

D.R.

A partir de ces coefficients, il est possible de calculer les épaisseurs d'EMTE® et de GB dans les conditions du manège pour $10^6 - 5,10^6 - 10,10^6$ passages de 65 KN avec un risque de 5 %.

Dans le cas présenté, le rapport des épaisseurs entre la GB et l'EMTE® est de 1,7.

Expérimentations

Plusieurs expérimentations ont eu lieu pour valider le comportement *in situ* de l'EMTE®.

Les sections qui ont été suivies dans le cadre de la charte innovation sont :

- pour le climat océanique : la RN 177 (Calvados) et la RN 123 (rocade sud de Chartres – Eure-et-Loir) (photo 2).
- pour le climat de montagne : la RN 88 (Haute-Loire).

Outre les paramètres de dimensionnement précédemment définis, les observations faites sur ces chantiers ont conduit à fixer pour l'EMTE® une épaisseur minimale de 10 cm [2].



Photo 2
EMTE® sur la RN 123 (rocade de Chartres)
EMTE® on highway RN 123 (Chartres ring road)

L'expérimentation RECYROUTE

RECYROUTE, projet ANR

Cette expérience s'inscrit dans le cadre du projet de recherche RECYROUTE, sélectionné en 2007 par l'Agence nationale pour la recherche (ANR) au titre du Programme génie civil et urbain (PGCU).

RECYROUTE vise à évaluer l'utilisation de matériaux composites incluant des fraisats bitumineux et traités au liant hydraulique, en assises de chaussées à fort trafic.

Ce projet ANR s'est déroulé d'avril 2008 à avril 2012 et regroupe sept partenaires :

- trois partenaires privés : Eiffage Travaux Publics (pilote du projet) APRR et CTI,
- quatre partenaires publics : IFSTTAR, CETE Ile-de-France, ENTPE et Ville de Paris.

Le projet vise à évaluer sur les plans performantiel, environnemental et économique le béton compacté fibré traité au liant hydraulique (FRCC®, *Fiber-reinforced Roller Compacted concrete*) comme matériau composite durable pour assise de chaussée à fort trafic.

FRCC® utilise des granulats neufs ou un mélange de granulats neufs et d'agrégats d'enrobés (FRCC® - fraisats).

Un autre matériau, la grave ERTALH® (enrobés recyclés traités au liant hydraulique) est inclus dans le programme de recherche.

Le projet a donné lieu à plusieurs publications [3, 4].

L'expérimentation sur le manège

Huit structures d'une largeur de 3 m et d'une longueur comprise entre 25 et 30 m ont été construites (figure 6). Les structures (photo 3) sont revêtues de 3,5 cm de béton bitumineux mince (BBM) au bitume 35/50, excepté les structures en FRCC® neuf (S5, S6 et S8) revêtues d'un BBM à base de bitume fortement modifié en polymère (Orthoprène®).

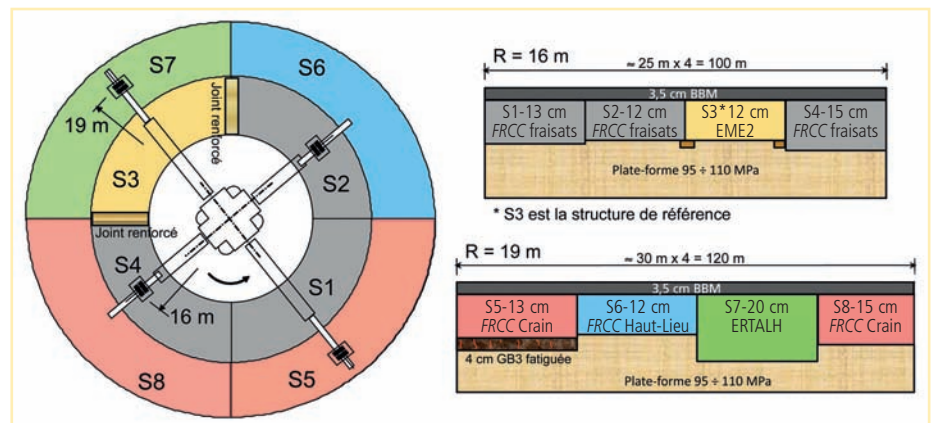


Figure 6
Composition des structures expérimentales et disposition sur le manège de fatigue (les épaisseurs sont les épaisseurs nominales de dimensionnement)
Composition of experimental structures and setting on fatigue test track (thicknesses are nominal design thicknesses)



Photo 3
Vue d'ensemble des planches de l'expérimentation RECYROUTE et mise en œuvre par l'établissement Eiffage Travaux Publics d'Ancenis (44)
General view of RECYROUTE trial sections applied by Eiffage Travaux Publics of Ancenis (Loire-Atlantique region)

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Le tableau 6 précise la nature des matériaux d'assise pour chaque structure.

- Les dosages en liant hydraulique varient de 4 à 6 % pour la grave ERTALH® et de 11 à 13 % pour les FRCC®.
- 2 millions de chargements avec le jumelage standard de 65 KN ont été effectués entre janvier et septembre 2010.
- 150 000 chargements avec surcharge (jumelage de 75 KN) ont été réalisés pour dégrader les structures qui n'étaient pas encore endommagées.

S1	FRCC® fraisats	13 cm	70 % de fraisats 0/14
S2	FRCC® fraisats	12 cm	
S3	EME2	12 cm	Matériau de référence
S4	FRCC® fraisats	15 cm	
S5	FRCC® grain	13 cm	Granulats grain : calcaire tendre
S6	FRCC® Haut Lieu	12 cm	Granulats Haut Lieu : calcaire dur
S7	Grave ERTALH®	20 cm	
S8	FRCC® grain	15 cm	70 % de fraisats 0/14

Tableau 6
Nature des matériaux d'assise pour chaque structure de l'essai de manège RECYROUTE
Nature of roadbase materials for each structure of RECYROUTE fatigue track test

L'expérimentation RECYROUTE a conduit à une évaluation positive des matériaux testés, moyennant plusieurs conditions : maîtrise des épaisseurs, des compacités, homogénéité des dosages en fibres, ...

Le tableau 7 résume les valeurs des paramètres de dimensionnement déduites de cette analyse, pour les matériaux FRCC® fraisats et ERTALH®.

Concernant les observations non structurelles, l'apparition de nids-de-poule a pu être favorisée par une mauvaise homogénéité ponctuelle des fibres dans la couche de base ou encore un excès de gravillons de la couche d'accrochage. En outre, la circulation par temps de pluie favorise le développement de ces dégradations, annoncées par des remontées à la surface de la chaussée de fines blanchâtres.

Sur les zones sous-dimensionnées des structures S6 et S8 plus rapidement dégradées, le BBM à base de bitume très fortement modifié en polymère (Orthoprène®) a montré un très bon comportement.

Les enseignements du manège

Compte tenu des coûts, le développement de produits ne fait pas toujours appel au manège de fatigue, surtout si ces produits font partie de familles dont les propriétés sont bien connues. Par contre, dès qu'il s'agit de matériaux très innovants, l'expérimentation sur le manège est d'une grande utilité, c'est le cas des matériaux composites.

En ce qui concerne les aspects techniques, au-delà des paramètres indispensables pour le dimensionnement des chaussées, le manège démontre sa pertinence. A travers les exemples précédents :

- L'expérimentation EMTE® rappelle la grande sensibilité des matériaux rigides. Un écart d'épaisseur, de l'ordre du cm, fait passer d'une durée de vie de 1,9 million de chargements à plus de 3 millions de chargements.
- La remontée imprévue de la nappe et la chute de portance associée ont dégradé le secteur en grave-ciment, ce qui a permis de valider une solution anti-fissures très efficace aux liants modifiés Biprène®.

- L'expérimentation RECYROUTE a provoqué de nombreuses discussions sur le collage des couches et sur la pertinence du couple BBM/assise rigide, en dehors des aspects structurels qui sont satisfaisants.

La plupart de ces constats sont souvent des évidences. Mais il s'agit de règles pratiques de dimensionnement et de mise en œuvre, qui, si elles ne sont pas respectées ont un impact direct sur les budgets d'entretien et les coûts de réparations.

Une seconde réflexion concerne la modélisation. Dans la plupart des domaines de la construction : chaussées, géotechnique, ouvrages d'art, la modélisation ne suffit pas. C'est une aide précieuse pour limiter le nombre d'essais et faire varier les paramètres. Elle doit être complétée par l'expérimentation.

Une troisième remarque concerne les constats faits sur le terrain (photo 4). L'équipe en charge du manège est riche d'une longue expertise, ce qui facilite l'interprétation des résultats.

Matériaux	Module E 15 °C, 10 Hz (MPa)	σ_6 (MPa)	-1/b	S _N	S _h (m)	k _c	1/kd	
							H1	H2
ERTALH	10 000	0,82	10,7	1	0,02	1,4	1	
FRCC fraisats	12 000	1,75	12,4	1	0,02	1,5	1,21	1,29

H1 : hypothèse de fonctionnement continu de la structure associé à un contrôle complet de la fissuration
H2 : hypothèse de fonctionnement discontinu associé à une fissuration ouverte

Tableau 7
Valeurs des paramètres de dimensionnement des matériaux FRCC® fraisats et ERTALH® présentant des formulations conformes à celles testées sur le manège
Values of design parameters of FRCC® millings and ERTALH® materials presenting mix designs complying with those tested on the track



Photo 4
Inspection du manège (Recyroute)
Inspection test track (Recyroute)

Conclusion

L'utilisation du manège de fatigue de l'IFSTTAR n'est pas une démarche courante compte tenu de l'importance de ce type d'expérimentation en termes de coût, d'une part, de préparation et d'analyse, d'autre part.

Les équipes techniques et travaux d'Eiffage Travaux Publics ont participé à deux projets en près de 20 ans, qui se sont avérés très riches d'enseignement. Le manège est une phase essentielle entre les études préliminaires et la mise sur le marché d'un produit nouveau.

Les mesures et observations conduisent à comprendre les mécanismes de fonctionnement des matériaux (fatigue, rupture, ...), à valider les conditions de mise en œuvre.

La qualité de l'expérimentation, avec la maîtrise de tous les paramètres, permet de fixer les coefficients de dimensionnement.

L'expertise de l'équipe de mesure, les discussions techniques qui ont lieu pendant le projet sont des éléments clés pour la qualité et l'interprétation des résultats. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. Kobisch, J.-C. Gramsammer, J.-P. Kerzrého, Y. Jolivet, J.-C. Vaniscote, Modulotal® TE2 : développement d'un bitume pour enrobé à module très élevé en assise de chaussée
Expérimentation sur le manège de fatigue du LCPC, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) n° 747, janvier 1997 www.rgra.fr
- [2] D. Jamois, Y. Jolivet, M. Malot, J.-C. Vaniscote, Modulotal® TE2 : développement d'un bitume pour enrobé à module très élevé EMTE® Charte innovation routière, premier bilan des chantiers réalisés en zone climatique océanique, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) n° 768, décembre 1998 www.rgra.fr
- [3] M.-L. Nguyen, J.-M. Balay, F. Olard, C. Sauzéat, H. Di Benedetto, B. Ficherouille, L'expérience Recyroute sur le manège de fatigue de l'IFSTTAR, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA) n° 911, avril-mai 2013 www.rgra.fr
- [4] M.-L. Nguyen, J.-M. Balay, C. Cauzet, C. Sauzéat, H. Di Benedetto, K. Bilodeau, F. Olard, B. Ficherouille, Accelerated Testing on the Ifsttar's ALT Facility of new pavement base of steel reinforced compacted concrete containing reclaimed asphalt pavement, 4th International Conference on Accelerated Pavement Testing, California, 2012
- [5] NF P 98-138 Enrobés hydrocarbonés – Couches d'assises : graves-bitume, novembre 1999, remplacée par NF EN 13108-1
- [6] NF EN 13108-1 Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 1 : enrobés bitumineux, février 2007



Fatigue test track: Experiments with Eiffage

Eiffage Travaux Publics took part in two trials on the fatigue test track. The first was relative to the development of a binder developed by TOTAL associated with a new asphalt mix design concept (EMTE®) with a high structural capacity, while the second involved two cementitious binder treated materials (FRCC®) with a high binder content and including metal fibres, ERTALH®, a mix of binder and asphalt millings. Besides the goals achieved in both cases, the trials yielded findings for a better understanding of the behaviour of pavements and materials and for validating their placement conditions.

AUTEUR

Michel Mazé
Directeur scientifique
Eurovia Management

Remerciements

L'auteur remercie Jean-Pierre Kerzéro pour la rédaction de cet article, pour son aide et sa compétence ainsi que les auteurs des articles RGRA sur la Grave-Mousse.



Installation SPL de maturation et d'élaboration de Saint-Ouen-l'Aumône
SPL maturing and manufacturing Installation of Saint-Ouen-l'Aumône

Matériaux alternatifs, chaussées innovantes



Dans les années 1990 la société Entreprise Jean Lefebvre (EJL), devenue Eurovia, a développé plusieurs nouveaux procédés innovants pour couches d'assise de chaussée dont la Grave-Mousse et des matériaux à base de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND) tels que SCORCIM® et SCORMOUSSE®.

L'évaluation de ces produits est passée, bien évidemment, par des études approfondies en laboratoire et des chantiers expérimentaux. Mais très vite, il est apparu que pour connaître rapidement le comportement de ces matériaux sous tous trafics, le manège de fatigue de l'IFSTTAR de Nantes s'avérait être le moyen le plus rapide et efficace.

Dans ce bref article, sont résumés les principaux résultats obtenus sur le manège de fatigue lors des expérimentations de la Grave-Mousse et des SCORCIM et SCORMOUSSE.

Expérimentation « Grave-Mousse » (GM)

Dès 1990, l'entreprise EJL a lancé le développement de matériaux d'assises basé sur le traitement d'une grave par de la mousse de bitume, technique connue depuis la fin des années 1970 pour la réalisation d'enduits superficiels (ESU). La Grave-Mousse a donc été testée en renforcement et en chaussée neuve. Immédiatement, ce produit a été comparé à une grave-émulsion et à une grave-bitume.

Bien que les résultats des premiers chantiers expérimentaux aient démontré un bon comportement mécanique sous tous trafics, il s'est avéré nécessaire de connaître d'une façon plus précise les paramètres « module et fatigue » afin d'affiner le dimensionnement des structures en Grave-Mousse. Ce programme a été formalisé en 1994 par une convention, entre l'entreprise et le LCPC, qui a défini les objectifs de cette étude :

- Evaluer la Grave-Mousse en technique de renforcement par comparaison à la grave-émulsion et à la grave-bitume.

- Déterminer son mode de fonctionnement et en particulier son mode d'endommagement.

- Etablir un modèle prédictif utilisable pour le dimensionnement des structures en Grave-Mousse.

Dans le cadre de cette expérimentation, quatre structures ont été étudiées (figure 1).

La description complète de cette étude et son analyse ont fait l'objet de deux articles dans la RGRA [1, 2].

Les principales conclusions qui ont été tirées de cette expérimentation très sévère (trafic cumulé de 4,3 millions d'essieux de 13 tonnes soit l'équivalent de 15 années d'un trafic T1) sont les suivantes :

- un module élastique voisin d'un béton bitumineux semi-grenu, BBSG, (5400 MPa) et nettement supérieur à celui de la grave-émulsion ;
- une moindre susceptibilité thermique par rapport aux autres techniques bitumineuses qui confère à ce matériau une excellente résistance à l'orniérage même à température élevée.



Chantier Scorcim sur RN, charte innovation Sétra
Scorcim worksite on national highway in connection with Setra innovation charter

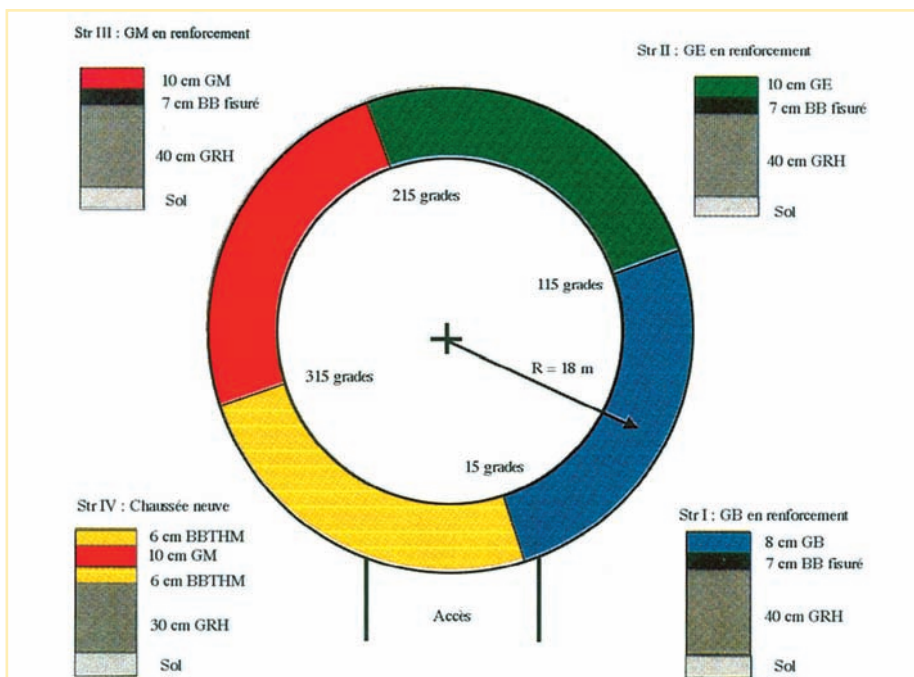


Figure 1
Implantation des chaussées sur le site
Location of pavements at the site

Au point de vue du dimensionnement, l'expérimentation précise et valide la méthode :

- La valeur de 5 000 MPa fixée par le Centre de recherche de Mérignac (CRM) pour le module élastique est en accord avec les mesures *in situ*.
- La résistance en fatigue, ($\epsilon_6 = 87,510^{-6}$) déterminée en laboratoire semble être sous-estimée par rapport à l'essai sur le manège.
- Le coefficient de calage retenu est celui de la grave-bitume (1,3).

En conclusion, cette expérimentation sur le manège fournit les éléments essentiels (comportement, dimensionnement) pour le développement et la diffusion du nouveau produit Grave-Mousse. En effet, les propriétés des procédés à base de mousse de bitume, tout comme les produits à froid en général, sont très difficiles à évaluer en laboratoire (comment simuler le mûrissement *in situ* et sous trafic ?). Et il semble que le manège de fatigue de Nantes reste le meilleur moyen d'obtenir rapidement des informations sur le comportement de ces produits structurants qui permettront de diffuser largement cette technologie. Il est à noter que suite à cet essai, Eurovia a mis en œuvre des centaines de milliers de tonnes de Grave-Mousse sous tous trafics depuis près de 20 ans sans problème particulier.

Expérimentations SCORCIM® et SCORMOUSSE®

Depuis de nombreuses années, Eurovia a développé de nouveaux matériaux issus du recyclage. Dès 1992, l'entreprise a étudié la possibilité de recycler dans les structures routières les MIDND. Après de nombreuses études et thèses sur les techniques de recyclage de ce matériau (élimination des métaux, sélection des MIDND, ...) réalisées en collaboration avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)

et des universitaires, il a été nécessaire d'évaluer plusieurs procédés de traitement de ce nouveau matériau et d'en connaître les propriétés géotechniques. Deux types de traitement ont été retenus : l'un à base de mousse de bitume, le SCORMOUSSE, et l'autre à base de liant hydraulique, le SCORCIM.

Comme dans le cas de la Grave-Mousse et bien que les résultats des expérimentations sur chantier se soient avérés convaincants sur quelques années, il est apparu très difficile d'extrapoler ces résultats sur 15, voire 20 ans, par des essais de laboratoire. Dès lors, un essai accéléré sur le manège de fatigue du LCPC s'imposait pour permettre une large diffusion de ces produits.

Suite à une convention signée entre l'entreprise et le LCPC en novembre 2000, il a été décidé de conduire une expérimentation sur un anneau du manège de fatigue de Nantes, d'avril 2000 à février 2001, elle avait pour objectifs de connaître :

- le mécanisme de dégradation sous trafic intense de ces nouveaux matériaux ;
- la mise au point et la validation des modalités de dimensionnement des structures de chaussées incluant ces matériaux innovants, sur la base d'une transposition de la démarche de dimensionnement rationnel LCPC – SÉTRA [3].

Cinq structures de chaussées différentes ont été testées simultanément sur l'anneau A du manège de fatigue. La couche de surface est commune aux 5, à savoir un BB de 4,5 cm d'épaisseur et les structures ne se différencient que par la nature et l'épaisseur de la couche de base (Scorcim, Scormousse, sable ciment, graves-émulsion) (figure 2).

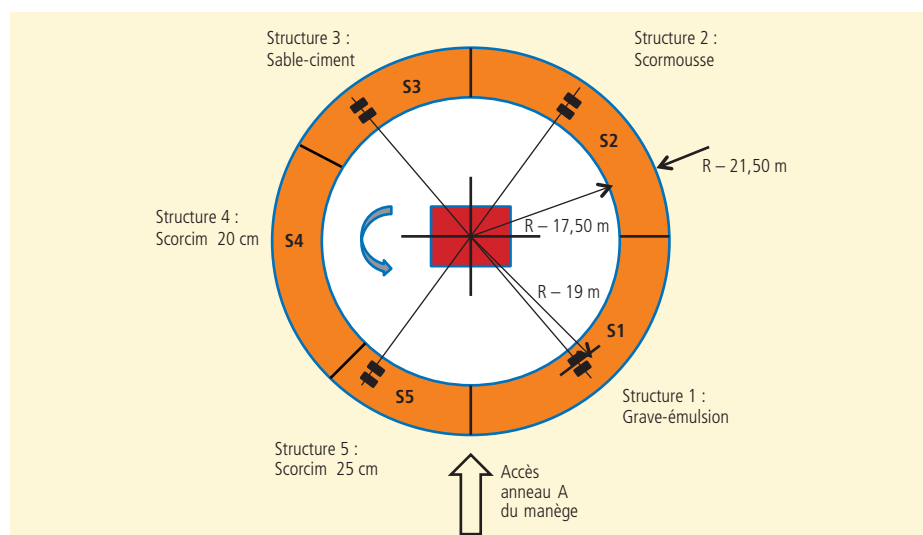


Figure 2
Implantation des 5 structures sur l'anneau A du manège
Location of five structures on ring A of fatigue test track

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français



I. Drouadine

Mise en œuvre de Scorgrave à la niveleuse
Laydown of Scorgrave by grader

Les principales conclusions, suite à cette expérimentation de 584 000 passages chargés progressivement de 45 KN à 60 KN puis de 452 000 passages à 65 KN, sont les suivantes :

- Les résultats de comportement sont identiques entre le Scormousse et la grave-émulsion : pas de fissure et un ornierage moyen (6 mm) équivalent.
- Les structures Scorcim (20 cm d'épaisseur) et sable-ciment ont eu un comportement équivalent.

Globalement, ces données ont permis de proposer des modalités de dimensionnement pour ces structures à matériaux innovants Scorcim et Scormousse.

Depuis cette étude, Eurovia a réalisé un grand nombre de chantiers avec ces produits, principalement le Scorcim dont le tonnage cumulé dépasse le million de tonnes. Ces chantiers ont été réalisés pour 2/3 en Ile-de-France, l'usage se fait en couches de fondation et de base de chaussées pour tous trafics. Dans un prochain numéro de la RGRA il sera publié un bilan des chantiers Scorcim et Scormousse en rapprochant les performances issues de l'expérimentation sur le manège.

A partir de ces deux expérimentations, l'on peut dire que le manège de fatigue IFSTTAR de Nantes est un outil très performant pour évaluer rapidement le comportement sous trafic de nouveaux produits ou structures. C'est une étape indispensable entre le laboratoire et la commercialisation de matériaux alternatifs utilisés en technique routière.

En quelques mois, il est possible de valider des hypothèses (le dimensionnement, par exemple) que le retour terrain mettrait des années, voire des dizaines d'années, à mesurer et conforter. ■

BIBLIOGRAPHIE

[1] Y. Brosseaud, J.-C. Gramsammer, J.-P. Kerzrého, H. Goacolou, F. Le Bourlot, Expérimentation (1^{re} partie) de la Grave-Mousse sur le manège de fatigue, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) n° 752, juin 1997, pp 61-69, www.rgra.fr

[2] Y. Brosseaud, J.-C. Gramsammer, J.-P. Kerzrého, H. Goacolou, F. Le Bourlot, Expérimentation (2^{de} partie) de la Grave-Mousse sur le manège de fatigue, Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) n° 754, septembre 1997, pp 73-78, www.rgra.fr

[3] J.-F. Corté, Guide technique LCPC-SÉTRA, conception et dimensionnement des structures de chaussée, décembre 1994



Alternative materials, innovative pavements

In the 1990s, the company *Entreprise Jean Lefebvre (EJL)*, which became *Eurovia*, developed several new and innovative roadbase techniques including *Grave-Mousse* (foam-treated roadbase material) and materials treated with non-dangerous incineration slag (MIDND) such as *SCORCIM®* and *SCORMOUSSE®*.

The evaluation of these products obviously underwent in-depth studies in the laboratory and on experimental worksites. However, it very quickly became apparent that in order to rapidly determine the behaviour of these materials under all types of traffic, the IFSTTAR fatigue test track in Nantes was the fastest and most effective means.

This short article summarises the main results obtained on the fatigue test track during trials with *Grave-Mousse*, *SCORCIM* and *SCORMOUSSE* roadbase materials.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEURS

François Chaignon
Directeur technique Route France
COLAS

Bernard Mahé de La Villeglé
Directeur technique et développement
COLAS Centre-Ouest



Mise en place d'un COLGRILL® (membrane renforcée en fibre de verre) sur le manège

Les produits COLAS sur le manège de fatigue



Depuis le 1^{er} janvier 2013, le groupe COLAS opère en France sous une seule marque. Cette simplification des structures, voulue par la direction générale, est en place et le réseau technique des 7 filiales en France s'est organisé avec un système homogène pour être au service de ses clients et des agences opérationnelles.

Dans ce cadre, une capitalisation des expériences passées des trois marques COLAS, SACER et SCREG, pour la gamme future des produits et pour l'appui des exploitants, enrichit de manière unique et importante ce réseau technique et favorise un développement encore plus structuré.

A l'occasion des 35 ans du manège de fatigue de l'IFSTTAR, cette connaissance mutuelle, maintenant intégrée, est décrite dans cet article grâce aux expériences de COLAS dès 1990 et SCREG en 1994 et, notamment, pour les matériaux à base d'émulsion. L'émulsion de bitume a toujours été et restera pour le groupe Colas un axe fort de son développement tant en France qu'à l'international.

Pour les années à venir, Compomac, Colgrave sont déjà des produits contenus dans la gamme de COLAS en France. Il est important de noter que le manège de fatigue de l'IFSTTAR est l'outil unique en France pour l'appréciation et la validation en grandeur réelle sur le long terme des produits ou procédés d'entreprises.

Expérimentation Colas (1994)

L'innovation doit rester au cœur des entreprises l'un des éléments majeurs de son développement.

Dans ce cadre, une fois l'étape de recherche terminée, il faut tester en vraie grandeur les produits ou procédés en découlant. Colas a donc entrepris dès 1990 des expérimentations pour accélérer la connaissance de ses nouveaux produits ou procédés.

Les critères suivants ont été pris en compte et sont toujours valides :

- Apprécier le comportement d'anciens et de nouveaux matériaux sous le passage de charges équivalentes.
- Fixer ou confirmer les paramètres pris en compte pour le dimensionnement.

Les auteurs remercient Jean-Paul Michaut en charge de cette expérimentation et l'ensemble des équipes techniques de l'IFSTTAR et des directions techniques Colas France pour leur participation à cette expérimentation dès 1990.

- Prendre en compte l'entretien de ces matériaux par apport de béton bitumineux et ainsi apprécier leurs effets sur le comportement des structures.
- Mettre en évidence que l'entretien des chaussées peut se faire par rapport à la déformation du sol support en fonction des matériaux d'assise.

Les quatre structures testées

L'expérimentation s'est déroulée sur le site A du manège et quatre structures ont été retenues (figure 1).

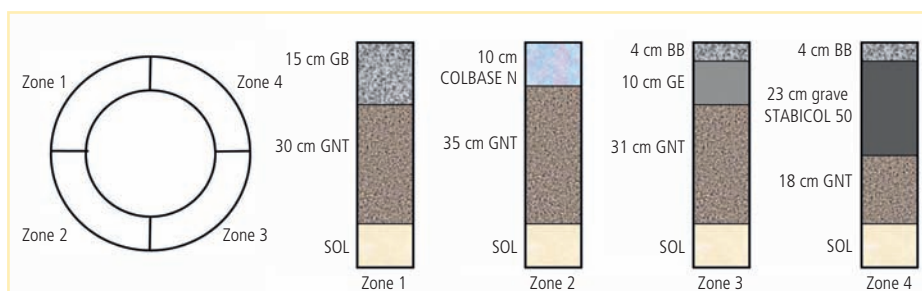


Figure 1
Les 4 structures testées sur le manège

Colas

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Les épaisseurs d'entretien

Les épaisseurs d'entretien ont été calculées pour que les structures puissent atteindre 1 400 000 cycles (trafic T3 sur 20 ans avec 85 PL/j) pour un entretien ayant lieu à 700 000 cycles.

La méthode utilisée a été celle liée à la loi de Miner.

Les zones 1 et 2 ont été divisées en deux sections afin d'apprécier l'effet de chaque renforcement (figure 2). Ils font appel à deux produits du groupe :

- Colgrill R : membrane renforcée en fibre de verre ;
- Rugoflex : enrobé mince discontinu au liant Colflex.

Les matériaux

- **Le sol support** : le matériau composant le massif de 2 m d'épaisseur avait une portance plus proche de celle d'une PF1 que d'une PF2.
- **La grave non traitée (GNT)** : les essais à la plaque effectués à l'issue de l'application ont montré un module moyen du massif sol support/GNT de l'ordre de 50 MPa.
- **La grave-bitume (GB)** : cette GB 0/14 était conforme aux normes en vigueur à cette période. Malgré tout, les valeurs de module obtenues sur échantillon du site à 90 % de compacité ont montré un module de l'ordre de 5 700 MPa et une valeur epsilon 6 de 79 μ def. Avec une compacité plus élevée, le résultat aurait été proche des valeurs traditionnelles respectivement 9 000 MPa et 90 μ def.
- **COLBASE N** : cet enrobé 0/14 à module élevé de 1990 a montré une valeur de module de 10 000 MPa à 90 % de compacité et un epsilon 6 de 102 μ def. Le manque de compacité observé sur site entraîne le fait que les caractéristiques mécaniques sont plus faibles que celles normalement mesurées avec une compacité de l'ordre de 93 %.
- **La grave-émulsion COLGRAVE** : ce matériau 0/14, GE historique du groupe Colas, a atteint une compacité de 81 % en début d'expérimentation puis de 90 % à l'issue de l'expérimentation.
- **La grave Stabicol 50** : ce matériau 0/20, dont l'originalité est le liant mixte homogène émulsion de bitume/ciment, possédait un module de 17 000 MPa avec une résistance en traction (R_t) de 0,66 MPa.
- **Enrobé mince au bitume pur** : rien de particulier à signaler pour cet enrobé rationnel maintenant pour l'entretien si ce n'est sa forte résistance à l'orniérage.
- **Enrobé mince au bitume modifié RUGOFLEX** : RUFLEX à l'époque, désormais RUGOFLEX, cet enrobé discontinu 0/10 au liant modifié COLFLEX possède les caractéristiques attendues en orniérage.

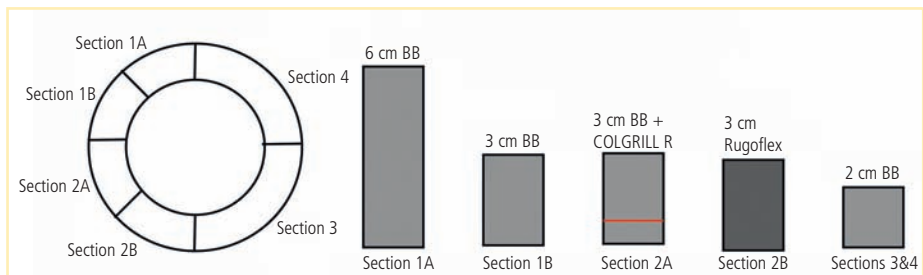


Figure 2
Renforcements des différentes sections

Colas

Déroulement de l'expérimentation

Tout au long de l'expérimentation, des mesures de déflexion et de déformation ont été réalisées ainsi que des relevés de dégradation. A noter que le suivi de la déflexion a montré, comme attendu, qu'il est pertinent dans l'appréciation de l'évolution des structures.

Comportement mécanique des structures

Seule la structure en GE COLGRAVE est traitée car l'approche des EME a montré un comportement désormais reconnu. La GE est toujours aussi méconnue, malgré les études récentes faites par la profession et l'IFSTTAR, dans son comportement sur chantier.

La difficulté de comparer une approche technique en laboratoire et sur site n'est pas encore finalisée. La méthodologie française utilisée pour les enrobés ne donne pas les informations nécessaires pour la GE. Cette expérimentation offre tout son intérêt tout autant que celle en cours du laboratoire de Toulouse (LRPC) sur la planche suivie sur son site.

Résultats et interprétation

La structure GE, comme les autres, était sous-dimensionnée ; elle a cependant dépassé les attentes.

Il a été noté un mûrissement trop court lors de la mise en œuvre qui s'est traduit par une fatigue plus forte de l'enrobé de surface. Du fait du faible module de rigidité de ce produit, l'enrobé de surface travaille en traction et donc cette période de mûrissement est à prendre en compte pour les chantiers afin d'optimiser ce produit.

La déformation de surface, après entretien et 2 163 000 cycles (près de 50 % de plus que prévu) est très faible, de l'ordre de 6 mm.

L'apparition des fissures a commencé à 1 865 000 cycles et l'évolution de ces fissures est le critère à retenir pour envisager l'entretien des chaussées.

La déflexion a montré une évolution positive de 138/100 mm au départ à 113 avant l'entretien.

Cette stabilisation homogène a souvent été observée sur chantier ce qui en fait un matériau évolutif intéressant.

De cette expérimentation au manège de fatigue de l'IFSTTAR, plusieurs commentaires ont été adressés :

- Les résultats ont conforté les hypothèses prises pour le dimensionnement.
- Une attention particulière doit être apportée sur les déformations du sol support, ce qui fut avéré.
- La déflexion ne peut être liée au trafic mais est un facteur pertinent pour envisager les séquences d'entretien.
- Déterminer des lois d'évolution des chaussées est possible.

Expérimentation SCREG (1993-1994)

En 1993, SCREG et le LCPC ont décidé de monter, en partenariat, une expérience basée sur l'utilisation du manège de Nantes, pour évaluer, dans des délais très courts, la tenue sous trafic. Les objectifs communs étaient d'obtenir, dans des conditions scientifiquement rigoureuses, des éléments quantifiés à la fois sur le comportement de structures et sur les caractéristiques mécaniques *in situ* des matériaux. SCREG souhaitait, de plus, en tant que formulateur, fabricant et applicateur d'émulsions et d'enrobés à froid, situer certains de ses produits, au stade de la recherche ou du développement, par rapport à des techniques classiques. Les objectifs communs des deux partenaires peuvent se résumer ainsi :

- Éprouver le comportement sous trafic de structures avec enrobés à froid.
- Quantifier l'évolution des performances mécaniques d'enrobés à froid au cours de leur mûrissement.
- Situer le comportement et les caractéristiques d'enrobés à froid par rapport à ceux d'enrobés à chaud.
- Progresser dans la modélisation et le dimensionnement de chaussées comportant des enrobés à froid.

Pour SCREG, cette expérimentation avait des finalités complémentaires :

- Progresser dans ses recherches sur des techniques particulières d'enrobés à froid.
- Mettre en évidence, dans un délai raccourci, l'apport de ces techniques d'entreprise par rapport aux solutions traditionnelles.

Les structures testées

Le support de la chaussée est constitué d'un massif de sable argileux surmonté d'une couche de 7 à 11 cm de sable-ciment, subsistant d'une expérience précédente.

Le but de l'expérimentation étant d'étudier le comportement d'enrobés à froid sur un support déformable, la chaussée, constituée d'une GNT, recomposée, humidifiée (GRH) et d'enrobé, a été dimensionnée de façon à obtenir, sur l'enrobé, une déflexion de l'ordre de 120 à 130/100 mm et un rayon de courbure < 100 m. L'épaisseur de la couche de GRH, de granularité 0/31,5 mm de la carrière des Maraîchères, a été réglée à 30 cm sur l'ensemble de l'anneau. Ce choix a conduit à des épaisseurs d'enrobés inférieures à celles préconisées par les guides de dimensionnement actuels. Les structures ont donc délibérément été sous-dimensionnées. (A titre d'exemple, le Guide de dimensionnement des chaussées à faible trafic prévoit pour ces classes de plate-forme et de trafic : 50 cm GRH + 12 cm GE + 6 cm béton bitumineux).

L'anneau a été divisé en quatre secteurs définis ainsi :

- 10 cm de GB (secteur II),
- 10 cm de GE classique, servant de référence appelée « GER » (secteur III),
- 10 cm d'enrobé à froid double enrobage Compomac M2, en abrégé « CM2 » (secteur IV),
- 10 cm de GE expérimentale, appelée « grave-émulsion spéciale B » ou « GESB » (secteur I).

Il a été décidé de ne pas appliquer de couche de roulement en BB car il y avait, pour les EAF, un risque de fausser l'expérience : risque de diminution de la sollicitation de l'enrobé à froid en cas d'épaisseur forte, risque de ruine rapide de la couche de roulement en cas d'épaisseur faible. Par contre, un enduit superficiel monocouche 6/10 a été appliqué sur les EAF afin d'éviter toute dégradation de surface en cours d'essai et pour se conformer à la pratique courante de la technique des GE utilisées sous trafic moyen ou faible.

Les matériaux

La GB avait déjà été étudiée de manière détaillée par le LCPC. On s'est donc borné à vérifier la conformité de ses constituants.

En juin-juillet 1993, la formulation de la GE de référence a été optimisée conjointement par SCREG et le Laboratoire régional des Ponts et chaussées (LRPC) de Toulouse.

Pour sa part, SCREG a mis au point les formulations d'émulsions et les compositions des enrobés à froid.

Pour cette expérimentation, une formule GB 0/14 La Noubleau à 4 ppc de bitume 50/70 Elf/Donges a été retenue. Cette formule avait été précédemment étudiée par le LCPC et servi de témoin dans le cadre d'autres expériences sur le manège. Pour les enrobés à froid, un granulat alluvionnaire des Sablières de Garonne à Saint-Jory a été utilisé. En effet, ce type de matériau est couramment utilisé en GE dans le Sud-Ouest. Ses qualités d'enrobage et ses performances mécaniques sont connues depuis plusieurs études menées par le LRPC de Toulouse et par SCREG. De plus, quelques chantiers de GE réalisés avec ce granulat ont fait l'objet d'un véritable suivi.

La GE de référence est dosée à 4,2 ppc de liant résiduel (70/100 Elf/Donges). Elle satisfait aux exigences du type 3 de la norme NF P 98-121, version en vigueur en 1993.

Le premier enrobé à froid spécifique à SCREG est un enrobé de type Compomac M2, obtenu par double enrobage, le sable étant pré-enrobé à chaud. Cette technique conduit à une répartition homogène du liant sur toutes les fractions, à la différence des GE. Sa teneur en liant résiduel est de 4,5 ppc. Ce procédé est déjà en exploitation dans plusieurs filiales de SCREG. Sa version « couche de base », telle qu'elle a été testée au manège, était au stade du développement.

La seconde formule d'entreprise, appelée « GESB », est une GE à liant modifié, qui se caractérise, après mûrissement, par un module plus élevé que celui d'une GE classique. Cette technique était, au moment de l'expérience, au stade de la recherche.

Déroulement de l'expérimentation

Sur la couronne extérieure de l'anneau A, entre les rayons de 17,50 m et 20,50 m, l'ancienne chaussée en béton posée sur un sable argileux de qualité médiocre a été évacuée. Une partie du sable-ciment sous-jacent a été conservée après fraisage, de manière à obtenir une portance suffisante pour la mise en place des couches de chaussées.

La GRH a été construite en juillet 1993 ; les couches de matériaux traités ont été réalisées entre fin août et mi-septembre 1993 sur une GRH présentant une déflexion comprise entre 100 et 150 1/100 de mm sous un essieu de 13 tonnes. Ces structures ont été mises en place avec du matériel courant de construction routière (finisseur, compacteurs lisses et à pneumatiques). Toutes les couches d'enrobés ont été réalisées en épaisseur proche de 10 cm. Après le passage de l'atelier de compactage, les mesures de compacité effectuées au gammadensimètre à profondeur variable (GPV) sur ces couches et au banc gamma sur carottes ont donné les valeurs indiquées au tableau 1.

Structure	I	II	III	IV
Matériau	GESB	GB	GER	CM2
Compacité moyenne (%)	84	89,5	82,5	83

Tableau 1
Compacités mesurées sur les différentes structures

Phases de consolidation et de sollicitation

De manière à solliciter progressivement les EAF, la phase de consolidation a été menée avec des charges allégées (4,5 t par jumelage, équivalent à un essieu de 9 t) et avec un balayage uniforme et quasi continu de la piste. Le nombre maximum de chargements prévu pour cette phase était de l'ordre de 100 000.

La phase de sollicitation, quant à elle, a été réalisée suivant les modalités normales de simulation de trafic français, avec des jumelages chargés au maximum légal à 6,5 t (65 KN) et balayage transversal sur une largeur réduite. Afin de reproduire un trafic moyen, correspondant au domaine d'emploi privilégié des EAF, le nombre maximum de chargements prévu était de deux millions (soit 500 000 rotations).

Comportement mécanique des structures

Déformations

Durant la construction des chaussées, des jauges d'extensométrie ont été placées à la base des quatre matériaux bitumineux. Ces capteurs ont été interrogés à trois états de trafic jusqu'à 95 000 passages. Après 100 000 passages, la fissuration, plus dense, n'a pas permis d'obtenir des mesures de qualité.

La première série de mesures a eu lieu en novembre 1993 sous une charge de 4,5 tonnes roulant à 47,8 km/h (6,5 tours/min). La deuxième a été faite six mois plus tard toujours sous un jumelage de 4,5 tonnes roulant à même vitesse et pratiquement au même état de trafic (60 000 passages).

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

La troisième série a eu lieu sous un jumelage de 6,5 tonnes roulant également à 47,8 km/h.

Pour les enrobés à froid, les déformations à la base des couches ont sensiblement diminué entre les deux premières séries de mesures, d'environ 25 %, entre novembre 1993 et mai 1994. Il y a donc eu apparemment un certain mûrissement de ces matériaux au cours des cinq mois séparant les deux séquences de mesure. Pour la GB, on note une diminution encore plus importante des déformations puisqu'elle est de l'ordre de 60 %. Ce comportement est assez étonnant de la part d'un matériau qui n'évolue que très peu avec le temps, cela pouvant s'expliquer par la fissuration généralisée précoce qui n'était pas visible à ce moment mais qui a été observée par la suite. Il est probable que des désolidarisations, constatées ultérieurement à la base de la couche de GB, se sont produites à ce moment-là et que les jauges n'étaient solidaires que de petits blocs fissurés.

A 920 000 passages sous une charge de 6,5 tonnes, les déformations n'avaient pas évolué pour la GB et étaient restées basses, confirmant le fait que cette couche était fissurée. Pour les produits à froid, les déformations ont légèrement augmenté en passant d'une charge de 4,5 tonnes à 6,5 tonnes, une augmentation d'environ 17 % pour les quatre structures, ce qui est inférieur aux 44 % ($6,5/4,5 = 1,44$) d'augmentation que l'on pouvait attendre. Cela laisse supposer que la fissuration, bien que peu visible, était effectivement amorcée dans les GE.

/// Dégradations

• Orniérage

Les relevés de profils en travers ont été réalisés à l'aide du Transversoprofilographe LPC à raison de cinq points par structure, une séance d'auscultation à la fin de la première phase, neuf autres durant la seconde phase espacées d'environ 150 000 chargements au début et 350 000 chargements en fin d'expérience. Sous un jumelage de 4,5 tonnes, à la première phase, on note un excellent comportement des quatre matériaux (profondeur d'ornière < 5 mm dans les 55 000 premiers chargements). Le meilleur comportement a été relevé sur les structures I (GESB) et II (GB) où l'on relevait des profondeurs maximales d'ornière de 2 mm environ.

Après sollicitation sous un jumelage de 6,5 tonnes, on relevait, pour les quatre structures, une ornière comprise entre 15 et 25 mm à un million de passages. Il faut noter une augmentation marquée dans l'évolution de l'ornière en fin d'expérience pour trois structures (le secteur en GESB ne présente pas ce phénomène). L'arrosage des chaussées, provoquant la

remontée et l'évacuation des fines, en est certainement la cause. Tout comme les mesures de déflexions, les mesures d'orniérage ne permettent pas de départager les quatre structures les unes des autres. L'observation des tranchées réalisées en fin d'expérience montre que, quelle que soit la nature du produit bitumineux, l'orniérage s'est produit dans la GRH et dans la plate-forme. On n'enregistre, dans les enrobés, ni fluage ni postcompactage significatif.

• Fissuration

A 83 000 chargements, dont 66 000 de 4,5 tonnes, on a noté l'apparition de quelques fissures transversales d'une vingtaine de centimètres de long sur les secteurs I et III. A 200 000 chargements, on trouve ces secteurs I et III entièrement fissurés. Après 240 000 passages, il a été constaté qu'à leur tour les secteurs II (GB) et IV (CM2) présentaient des fissures. Pour la GB, on localisait deux zones fissurées de 3 m de long en début et en milieu de secteur. Le Compomac était fissuré sur la moitié extérieure de la bande de roulement avec une étendue de 100 %, mais une gravité bien moindre que celle des secteurs I et III.

La semaine suivant ces constatations, pratiquement toutes les fissures étaient devenues invisibles avec le séchage des chaussées. Par la suite, ce sera une succession de phases d'apparition et de disparition de la fissuration sur ces secteurs I, III et IV. Sur le secteur II (GB) ces fissures persisteront avec les remontées de fines. Après 650 000 passages, on a un véritable faïençage sur la totalité des structures I et III. La fissuration du secteur II est totale à 700 000 passages. Sur la structure IV (CM2), la fissuration se développe lentement et dans la moitié extérieure de la bande de roulement avec une grande fissure longitudinale en milieu de bande.

Des remontées de fines vont progressivement apparaître sur les secteurs I et II, puis sur le secteur IV. L'arrosage artificiel des chaussées, effectué au cours des 400 000 derniers chargements, n'a pas modifié la fissuration mais accentué l'orniérage. En fin d'essai, on verra apparaître des grandes fissures longitudinales à l'extérieur de la bande de roulement (au grand rayon) sur la structure III (GER) et dans une moindre mesure sur la structure IV (CM2).

Il convient de noter que, sur la GB, les fissures apparaissent plus ouvertes que sur les EAF et qu'elles ont tendance à se dégrader. Sur les EAF, les fissures ont un caractère «furtif» (photos 1 et 2). Elles sont visibles après une pluie, puis disparaissent. Quand elles sont visibles, elles apparaissent plus fines que sur la GB (les stagnations d'eau dans les ornières des EAF, lors des périodes de pluie ou d'arrosage, le prouvent).



Photos 1 et 2
Compactage du Compomac M2

De ce point de vue, l'enrobé à froid double enrobage a présenté globalement le degré de sévérité de fissuration le moins élevé.

La soudaineté avec laquelle est apparue la fissuration sur les quatre secteurs et le caractère « fugitif » de cette fissuration sur les enrobés à froid (au premier stade) ont rendu impossible toute quantification de type étendue pour la fissuration (quantification habituellement établie sur les structures du manège).

• Décohésion partielle des couches de graves-émulsion

L'observation des carottes et l'examen des matériaux dans les tranchées ont montré que la GER présente une absence de cohésion qui atteint, par endroits, la moitié inférieure de son épaisseur. Ce phénomène est également observé sur la GESB, mais à un moindre degré.

La GB et le Compomac M2 ne sont pas affectés par ce type de dégradation.

Pour ce dernier, on peut penser que le maintien d'une bonne cohésion sur toute l'épaisseur est dû à la répartition homogène du liant et à sa viscosité qui évitent le déchaussement des gros éléments, donc la décohésion.

Cela apparaît comme une différence essentielle de comportement par rapport aux GE, dont le liant est fixé préférentiellement sur les éléments fins, laissant les gros éléments peu enrobés, d'où la tendance constatée au déchaussement.

La bonne cohésion de l'enrobé à froid double enrobage sur toute son épaisseur a facilité le prélèvement de carottes et permis celui de plaques parallélépipédiques. Il a également été possible de prendre des plaques de GESB, mais pas pour la GER.

Résultats – Interprétation

Sur la chaussée expérimentale, les fissures sont apparues rapidement sous le chargement à 65 kN sur les secteurs en GE, ce qui est en accord avec les déformations en traction très importantes mesurées dès le début de l'expérimentation et avec les indications du modèle de prévision de la durée de service.

L'orniérage en surface a crû rapidement au passage des jumelages chargés à 65 kN. Comme l'ont montré les investigations faites en fin d'expérience, ces déformations en surface sont imputables essentiellement à la déformation de la GNT, fortement sollicitée comme l'indique le modèle de calcul.

Si l'on considère maintenant l'évolution des valeurs de déflexions mesurées en surface, après 200 000 passages d'essieux de 65 kN, on retrouve les niveaux de déflexion obtenus sur la GNT avant la mise en place des couches bitumineuses. Par la suite, les déflexions continuent même à croître pour se stabiliser aux environs de 140 à 150 1/100^e de mm en moyenne. Ce niveau de déflexion ne peut s'expliquer que par la rupture de la mince couche de sable-ciment située sous la GNT. Avec l'hypothèse d'un module initial de 700 MPa, la contrainte de traction à la base du sable-ciment est de l'ordre de 0,30 MPa. Les valeurs de déflexion mesurées après rupture supposée du sable-ciment se retrouvent avec le modèle de calcul en affectant alors au sable-ciment un module résiduel de 70 MPa.

Avec ces structures sous-dimensionnées, les couches de GE fissurent assez rapidement. L'évolution de la chaussée tient alors à l'orniérage du support non traité. Les niveaux de déformation à la base des couches de GE et de déflexion de la surface de la chaussée dépendent essentiellement du module de la couche de GNT.

Conclusions de l'expérimentation SCREG

A l'issue de cette expérimentation et de son interprétation, les principales conclusions sont les suivantes :

- Les conditions de réalisation (plateforme médiocre, chaussée très souple, épaisseurs réduites, enduit superficiel) sont représentatives de chaussées « secondaires ».

- Bien que les épaisseurs d'enrobés aient été notablement inférieures à celles préconisées par les documents de dimensionnement, l'anneau a pu supporter 1 940 000 chargements de jumelages de 6,5 tonnes sans nécessiter d'entretien. Ce simple fait mérite d'être souligné.

On peut noter au passage que ce nombre de chargements est équivalent au nombre d'essieux que subit une chaussée soumise à un trafic T2 pendant 18 ans ou à un trafic T3 pendant 32 ans (calculs faits pour 212 et 85 PL/jour respectivement avec un taux d'accroissement annuel de 4 %).

Cela n'autorise toutefois pas à conclure que les structures testées auraient effectivement ces durées de vie sous ces trafics, car d'autres phénomènes interviendraient dans la réalité (vieillesse des matériaux, intempéries, accidents).

- On n'a observé aucun fluage des enrobés à froid, malgré les liants peu visqueux et un trafic canalisé. Les déformations des profils transversaux proviennent du tassement du support.

- La fissuration est apparue à peu près en même temps sur les quatre structures, mais sa sévérité n'est pas identique partout. Les enrobés à froid ont présenté une fissuration plus fine que la GB. La fissuration des enrobés à froid a, de plus, au premier stade, un caractère « furtif » (apparition et disparition en fonction des cycles météorologiques).

- De nombreuses mesures de module ont pu être effectuées. Les résultats confirment l'ordre de grandeur communément admis pour les GER (2 à 3 000 MPa).

Par ailleurs, le concept de la GE spéciale B, dont le module est au moins le double de celui de la GER, a été validé.

- On a observé, sur la GER, une importante décohésion ainsi que sur la GE spéciale B, mais à un moindre degré.

L'enrobé à froid double enrobage Compomac M2 n'est pas affecté par ce phénomène et garde sa cohésion sur toute l'épaisseur. Cela démontre l'intérêt du procédé qui assure l'enrobage uniforme de toutes les fractions granulaires.

- Dans le cas de supports de chaussées très déformables, l'analyse mécanique et les mesures montrent la nécessité de tenir compte de la non-linéarité du comportement des enrobés à froid pour le choix de la valeur du module à affecter au modèle de calcul.

Au final, cette expérience a donc amené des enseignements très intéressants. Elle a aussi montré que des besoins subsistent, en particulier pour une méthodologie d'étude des enrobés à froid, les paramètres de calage entre laboratoire et chantier, et certains aspects de modélisation.

Conclusions générales

Ces deux expériences importantes menées sur le site du manège de Nantes à l'IFSTTAR ont montré l'intérêt pour la profession et l'ensemble de la communauté routière de cet outil unique en France.

Pour le groupe Colas et avec la nouvelle organisation mise en place depuis janvier 2013, ces expérimentations doivent montrer la capitalisation essentielle des connaissances de son passé récent.

Pour les enrobés à froid COMPOMAC, dont le développement n'a pas faibli depuis et qui fait partie de la nouvelle gamme des produits et procédés spéciaux de Colas en France, cela représente une nouvelle opportunité de développement pour l'ensemble des sept filiales que ce soit en application mécanisée ou pour le petit entretien.

Pour la GE Colgrave, dont l'originalité subsiste, les utilisateurs en sont toujours contents sur les marchés d'entretien des routes départementales et son futur est toujours aussi intéressant. Dans cette période de budgets contraints, ce produit apportera encore une réponse pour les chaussées déformées grâce à ses propriétés de reprofilage de 0 à 10 cm.

Dans le même ordre d'idée, COLGRILL R se développe toujours au travers de chantiers de renforcement où la qualité de cette grille de verre apporte des solutions de renforcement économiques liées au dimensionnement réalisé à l'aide d'une méthode éprouvée par plus de 15 ans d'expérience.

L'émulsion de bitume montre sa forte adaptabilité avec des applications variées depuis la couche d'accrochage, les ES, les ECF et bien sûr COMPOMAC et COLGRAVE sans oublier les retraitements en place, technique fortement environnementale et peu développée en France malgré tout.

Le manège de fatigue de l'IFSTTAR a permis d'évaluer ces produits, surtout ceux où la connaissance technique n'est pas finalisée, et de montrer que sous trafic, ces matériaux répondent efficacement aux demandes des maîtres d'ouvrage et de leurs budgets afin de sauvegarder le patrimoine routier essentiel au développement économique du pays dans ces temps difficiles de budget.

La priorité de Colas, en tant que constructeur de routes est de donner tous ces éléments pour une meilleure approche économique et technique afin de continuer à faire travailler ses collaborateurs et ses industries.

Bon anniversaire au manège de fatigue de l'IFSTTAR ! ■

BIBLIOGRAPHIE

[1] J.-P. Michaut, Les produits Colas au manège, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 699, septembre 1992, www.rgra.fr

[2] Expérimentation d'enrobés à froid au manège de fatigue, RGRA n° 734, novembre 1995 www.rgra.fr

[3] XP P98-121, Assises de chaussées - Graves-émulsion - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre, février 2005

AUTEUR

Rolf Kobisch
Consultant
Ancien directeur adjoint
LRPC Saint-Brieuc

La genèse de la méthode française de dimensionnement des chaussées

La place du manège



L'objectif de cette synthèse est de présenter l'évolution de la méthode de dimensionnement des chaussées de 1968 à nos jours (vis-à-vis de laquelle le manège a joué un rôle majeur). La forte synergie entre les recherches entreprises au LCPC (Laboratoire central des Ponts et chaussées) et dans les LRPC (Laboratoires régionaux des Ponts et chaussées) et la rédaction des directives, recommandations, guides techniques SÉTRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements) - LCPC (Catalogue de structures types de chaussées, Dimensionnement des renforcements de chaussées souples) est l'un des points essentiels qui ont permis aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'œuvre et aux entreprises routières de réaliser des chaussées performantes aussi bien pour les usagers que pour les maîtres d'ouvrage.

J. Bonitzer [1], après la deuxième conférence internationale d'Ann Arbor en 1967, a défini la voie d'approche rationnelle du dimensionnement des chaussées : « *L'idée directrice de cette voie d'approche est calquée sur celle des ouvrages d'art : on calculera les contraintes et les déformations sous charges, on comparera ces grandeurs à celles que les matériaux employés peuvent supporter sans rupture ; on calculera dans chaque cas la structure de manière qu'elle puisse supporter les charges prévues.* »

Ainsi, deux périodes principales sont à distinguer en France pour le dimensionnement rationnel des chaussées :

- 1968-1972, établissement du premier catalogue des structures de 1971 [2] ;
- 1972-1994, application d'une méthode rationnelle de dimensionnement pour les chaussées neuves et les renforcements [3].

La contribution du manège à la méthode intervient dès sa mise en service à partir des années 1985.

Méthode retenue pour le catalogue des structures de 1971

De 1965 à 1971, de nombreux travaux ont été réalisés : caractérisation des matériaux en laboratoire, développement des moyens d'auscultation *in situ* des chaussées (déflectographe, poutre de Benkelman, vibreur léger), mise au point par la SEMA (Société d'économie et de mathématiques appliquées) d'un programme de calcul des contraintes et des déformations dans une structure d'au plus 6 couches, soumise à une charge statique, utilisant la méthode de Burmister.

Ces travaux ont permis de connaître les ordres de grandeur des rigidités et des déformations à la rupture des matériaux traités, de mettre en relation les diverses caractéristiques mesurables *in situ* et susceptibles d'être utilisées en tant que critères de qualité et durabilité des chaussées (déflexions, rayons de courbure, célérités des ondes de surface de différents types de chaussées), d'associer celles-ci au comportement des matériaux et de disposer d'un modèle de calcul pour établir des tendances.



Le dimensionnement des chaussées à travers les guides
Structural design of pavements through guides

Le dimensionnement des structures du Catalogue [2] est fondé principalement sur la formule empirique de la loi de réduction logarithmique des déflexions [4] :

$$\varepsilon = K \log \frac{d_0 - d_m}{d_1 - d_m} \quad \text{avec,}$$

- ε : épaisseur de la couche mise en œuvre en cm,
- d_0 et d_1 : déflexion avant et après la mise en œuvre de la couche,
- K et d_m constantes dépendant du matériau mis en œuvre (par exemple : $K \approx 26$ cm, $d_m \approx 10/100$ mm pour la grave laitier).

Les études *in situ* des paramètres, déflexion et rayon de courbure [5, 6], ont précisé la notion de déflexions maximales admissibles en fonction du trafic et du type de structure. Les calculs réalisés sur des bicouches ont permis d'étudier la relation sans dimension $d/a\varepsilon_r$ (figure 1), en fonction du rapport des modules des couches pour différentes épaisseurs (d : déflexion, a : rayon de charge, ε_r : déformation à la base de la couche) et de comparer les élongations engendrées lors du passage d'une charge de référence aux élongations limites obtenues en laboratoire sur les matériaux composant la structure.

Le catalogue [2] reposait, pour le dimensionnement des structures en matériaux traités, sur les relations qui précèdent. Il posait ainsi les prémices de la future méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées, qui allait se développer et s'imposer dans la décennie suivante.

Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972

Les éléments de cette méthode ont été mis en place à partir de 1968. Elle nécessite de :

- Disposer des caractéristiques mécaniques monotones et cycliques des différents matériaux composant la chaussée.
- Avoir un modèle de calcul de chaussée prenant en compte les lois de comportement des matériaux et reproduisant le plus près possible le fonctionnement mécanique de la structure lors du passage d'une charge.
- Comparer les sollicitations calculées dans les différents matériaux de la chaussée avec celles jugées admissibles après des études en laboratoire et *in situ*, pour un nombre de cycles de chargement.
- Cumuler statistiquement, notamment à travers le postulat d'additivité de Miner [7], les dommages liés à chaque passage de charge, qui sont fonction d'un grand nombre de paramètres.
- Disposer de données expérimentales pour le « calage » de ce modèle de dimensionnement mécanistique, obligatoirement simplificateur. Ces données assurant l'ajustement entre les résultats du modèle et le comportement réel des chaussées, sont de plusieurs natures : retours d'expérience en provenance des réseaux routiers, sections d'essais, et enfin expérimentations réalisées sur le manège de fatigue.

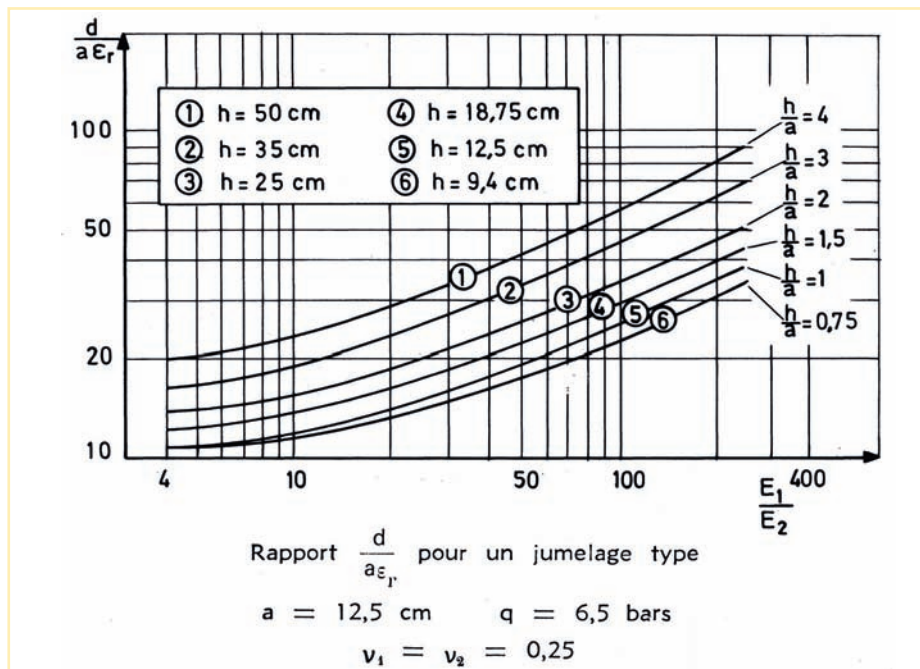


Figure 1
Rapport de la déformation horizontale à l'interface dans le milieu (ε_r) à la déflexion à la surface (d) dans un bicouche
Ratio of horizontal deformation at interface in middle (ε_r) to deflection on surface (d) in a two-layer pavement structure

Cette méthode doit ainsi prendre en compte l'environnement de la chaussée (teneur en eau, température, gel-dégel), les conditions de chargement (géométrie d'essieux, intensité des charges à la roue, ...), les dispersions inhérentes à la fabrication et à la mise en œuvre des matériaux.

La méthode rationnelle intègre également, à travers une composante probabiliste, les exigences de niveau de service assignées à la chaussée par son propriétaire, en fonction, notamment, de l'importance socio-économique de la section d'itinéraire concernée. Dans le modèle de calcul, ce niveau de service est traduit en termes de risque ou probabilité de dégradation structurelle de la structure à l'issue de la durée de service adoptée pour le dimensionnement.

Le modèle de calcul ALIZÉ et sa validation

Un modèle de calcul semi-analytique retenant les hypothèses de Burmister, couches élastiques, infini en plan, interfaces collées, décollées ou semi-collées, chargements multiples, est disponible depuis le début des années 1970.

A partir de 1969, un certain nombre de structures neuves ou renforcées, nationales et départementales, avec des couches de base en grave-ciment, grave-laitier, grave-bitume, sable bitume, ont été instrumentées à l'aide de jauges de déformation [8, 9]. Ces capteurs, placés

dans les couches lors de leur mise en œuvre mesurent les déformations au passage d'une charge lourde. Les premières structures instrumentées ont été des renforcements en grave-laitier, en grave-bitume et des chaussées neuves en grave-ciment et en sable bitume. Les jauges, placées longitudinalement et transversalement au sens de circulation, ont fourni l'enregistrement des « lignes d'influence de la charge » qui présentent un maximum lorsque la charge passe à la verticale des jauges (figure 2). Ces différentes mesures ont validé les modélisations des structures par le programme Alizé, et ont précisé les ordres de grandeur des différentes valeurs numériques à introduire dans le modèle.

De plus, l'instrumentation des chaussées par ces jauges de déformation a permis de comprendre le fonctionnement des structures neuves à assises traitées aux liants hydrauliques, l'importance des conditions d'interface entre les différentes couches, (critère interface glissant trop pénalisant entre deux couches de grave-ciment, les élongations mesurées étant inférieures à celles calculées), l'influence de la présence des fissures transversales de retrait. Enfin, le cas des structures mixtes instrumentées a conduit à une meilleure connaissance des déformations dans la couche de base.

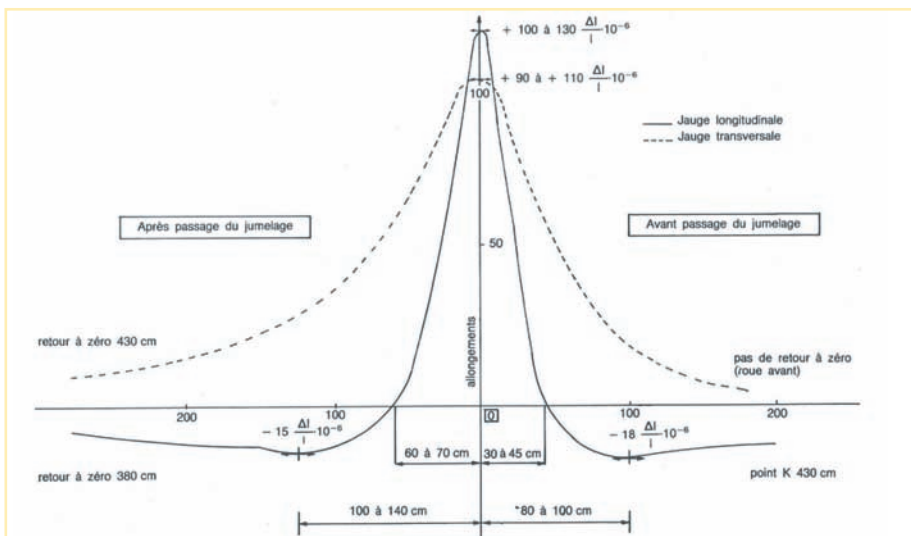


Figure 2
Exemple de signaux de jauges obtenu à la base d'une couche de grave-laitier en renforcement
Example of sensor signals obtained at base of slag-treated overlay course

IFSTTAR

Sections d'essais

Constitution

Les sections d'essais permettent d'évaluer sur la durée les diverses techniques routières. Elles permettent également de confronter les observations *in situ* aux prévisions tirées de la combinaison entre informations d'ordre théorique, résultats et constatations expérimentales [10] obtenus en laboratoire. Un programme a été lancé en 1969. L'évolution des sections de chaussées, construites selon les directives et prescriptions alors en cours d'élaboration, a été suivie entre 1969 et 1974. Le tableau 1 montre la répartition des sections et la forte prédominance des renforcements en grave-laitier.

Ces différentes sections ont fait l'objet d'une auscultation périodique. Les mesures de déflexion au déflectographe ont permis de déceler les hétérogénéités, de préciser le pouvoir de renforcement des différentes techniques, de suivre l'influence des conditions climatiques et de fournir des ordres de grandeur de déflexion en fonction des différentes techniques et structures.

Renforcements	Nombre de sections	Chaussées neuves	Nombre de sections
Enrobés	7	Grave bitume / Grave bitume	1
Grave bitume	5	Grave bitume / Grave ciment	1
Grave émulsion	1	Grave bitume / Sable bitume	1
Grave laitier	14	Grave ciment	1
Sable laitier	1	Grave laitier	2
Grave ciment	2	Sable ciment	1
		Grave cendres volantes	2

Tableau 1
Répartition des sections d'essais du programme 1969
Distribution of test sections of 1969 programme

IFSTTAR

La poutre Benkelmann a approché avec plus d'exactitude que le déflectographe, les faibles déflexions sur les structures à assises traitées aux liants hydrauliques et donné les éléments pour calculer les rayons de courbure. Des mesures au vibreur léger ont précisé les caractéristiques de rigidité des matériaux. Des sondages et des carottages (avant et après travaux) ont fourni les épaisseurs et les conditions aux interfaces des structures. Les relevés des dégradations et des profils en long et en travers ont précisé l'origine des défauts de surface, structurels ou liés à la couche de surface.

Enseignement tiré des sections en 1974

La première exploitation significative des données [11] a eu lieu en 1974. Elle a consisté à confronter les résultats des observations de tenue *in situ* aux résultats de modélisations simplifiées des structures selon le modèle Alizé. Cela a permis d'estimer la pertinence de la méthode de calcul, de rechercher les causes de divergences et d'opérer une classification globale des chaussées.

Le critère de cette confrontation a été « la durée de vie de la chaussée ». L'expertise fournit une appréciation sur la durée de la chaussée avant des travaux confortatifs notables (tableau 2).

Routes dites	Durée estimée	Note
Mauvaise	0 à 3 ans	0
Passables	4 à 7 ans	1
Bonnes	8 à 15 ans	2
Très bonnes	+ de 15 ans	3

Tableau 2
Classes de jugement des routes
Road judgment classes

Le calcul donne le nombre de cycles théoriques que supporte la couche dimensionnante (généralement la couche de base pour ces chaussées à assises traitées). L'approche préfigure le calcul rationnel de dimensionnement des chaussées : modélisation de la structure, calcul des sollicitations engendrées par une charge type, report de celles-ci sur les courbes de fatigue obtenues en laboratoire, déduction des nombres de cycles et des durées de vie théorique (fonction du trafic).

Le moyen de calcul est le programme Alizé 3. Les différents paramètres d'entrée dans celui-ci sont :

- les épaisseurs moyennes des couches aux carottages ;
- les caractéristiques mécaniques des matériaux, modules et coefficients de Poisson. Pour les couches liées conformes aux directives LCPC-SÉTRA, ce sont les valeurs disponibles déterminées en laboratoire. Pour les matériaux granulaires, plusieurs hypothèses ont été envisagées : $EMPa = 5 \text{ à } 10 \text{ CBR}$, $E/Esol$ compris entre 2 et 8, modules déduits des essais de plaques. Pour le sol, le module est déterminé par calcul inverse à partir des déflexions et/ou par son classement géotechnique. Un coefficient de Poisson de 0,25 est utilisé pour l'ensemble des matériaux ;
- les conditions de liaison entre couches (généralement considérées collées, à l'exception des graves hydrauliques, sur leur support).

Le trafic poids lourd est déterminé principalement par comptage, la mise au point des bascules LPC de pesage dynamique étant en cours pendant cette période. Des calculs prenant en compte les éléments disponibles, les lois de fatigue et le postulat d'additivité des dommages de Miner conduisent à la relation « un poids lourd égale 0,7 essieu de 13 tonnes ».

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

L'établissement du classement expérimental résulte des dégradations structurales, de l'état des carottes, des mesures de déflexions et du produit Rd (Rayon de courbure par la déflexion), des profils en travers et des vitesses de Rayleigh.

La confrontation entre les notes mesurées sur les sections expérimentales et les notes théoriques montre que ces dernières sont :

- très voisines des notes mesurées, pour les renforcements en enrobés et en grave-laitier ;
- optimistes pour les renforcements en grave-bitume (vraisemblablement dues à un manque de recul des experts pour une technique alors très nouvelle) ;
- globalement acceptables pour les structures neuves, tout en nécessitant un recul plus important pour confirmation ;
- dans 50 % des cas, très voisines des notes mesurées (moins d'une classe d'écart).

Les exploitations complémentaires indiquent la forte relation entre les épaisseurs de renforcement en grave-laitier et la durée prévue et constatée [12], ainsi que la grande importance du drainage pour les renforcements en enrobés.

En conclusion, cette première exploitation des sections d'essais montre, dès le milieu des années 1970, le bien-fondé de la méthode rationnelle de calcul des chaussées en cours d'ébauche.

Méthode de dimensionnement des renforcements en 1976

L'ampleur des renforcements en France depuis 1970 a conduit à poursuivre les recherches sur le dimensionnement des chaussées et principalement des renforcements afin de proposer un guide technique de « Dimensionnement des renforcements des chaussées souples » [3].

La poursuite du suivi des sections d'essais ainsi que les nouveaux progrès dans l'auscultation et le diagnostic des chaussées avant renforcements et les connaissances en matière de trafic poids lourd, de température dans les chaussées en France et de comportement des matériaux ont conduit à finaliser une méthode décrite dans la publication [13].

Principe

Les critères d'endommagement considérés dans les chaussées renforcées sont les tenues en fatigue, de la partie inférieure de la couche de renforcement (fissuration) et de la partie supérieure du sol support (ornièrage à grand rayon). La tenue de la couche de roulement (arrachements) est « assurée » par l'application des directives s'y afférant.

Le calcul rationnel reste celui décrit ci-avant.

Les bascules dynamiques récemment mises en place ont fourni un spectre moyen des essieux pesés. A cette date, 10 % des essieux étaient en surcharge. Pour une structure donnée l'association du spectre de charge, du modèle de calcul Alizé 3, de la courbe de fatigue et du postulat d'additivité des dommages de Miner permet de calculer le coefficient d'agressivité moyenne (CAM) d'un poids lourd (défini alors comme un camion de plus de 5 tonnes de charge utile). Des valeurs de CAM de 0,65 pour les structures bitumineuses et de 1 pour les matériaux hydrauliques sont ainsi retenues.

La forte dépendance du comportement des matériaux bitumineux avec la température (module, fatigue) conduit dans le calcul des chaussées bitumineuses à des valeurs de déformation et de dommage élémentaire hautement fonction de la température. Des études ont été effectuées pour « moyenner » ces effets sur l'année et ramener le dimensionnement des chaussées au cas d'une température de référence constante, désignée « température équivalente ».

Des relevés de températures, effectués à l'échelle de l'année, à 15 et 50 cm de profondeur permettent de déterminer des histogrammes types de température.

La connaissance du module des matériaux bitumineux et de ϵ_6 (élongation limite pour 10^6 cycles) en fonction de la température permet de calculer, pour les différentes classes de température, la déformation à sa base et le dommage élémentaire associé. Dans la mesure où le trafic est uniformément réparti sur l'année, l'application du postulat de Miner détermine alors la température équivalente pour la chaussée.

L'examen des différentes hypothèses montre que pour un renforcement d'une quinzaine de centimètres la température équivalente varie de 13 à 17 °C. La valeur de 15 °C a été retenue.

Les différents carottages réalisés, ainsi que les résultats des nombreux essais de fatigue sur les matériaux bitumineux et hydrauliques fournissent les écarts-types des dispersions des épaisseurs des couches de renforcement Sh et des lois de fatigue SN. Ainsi la valeur de la sollicitation admissible, pour un risque donné, prend en compte ces deux dispersions.

La modélisation de l'ancienne chaussée retient un module de 2 000 MPa pour les couches d'enrobés, un module du sol fonction de la déflexion de surface et un module du corps granulaire égal à 4 fois le module du sol. Les caractéristiques mécaniques retenues pour les matériaux de renforcement : le béton bitumineux $E = 6\ 000$ MPa, $\epsilon_6 = 150 \cdot 10^{-6}$ pour 15 °C, collé sur son support ; la grave-bitume $E = 8\ 000$ MPa, $\epsilon_6 = 120 \cdot 10^{-6}$ pour 15 °C, collé sur son support ; la grave-laitier $E = 15\ 000$ MPa, $\sigma_6 = 1,2$ MPa, décollée de son support.

La nature des matériaux de renforcement et la classe de trafic conditionnent la durée de calcul et le risque pris en compte.

Validation de la méthode

Une nouvelle exploitation des sections d'essais a permis de tracer des courbes de fatigue *in situ* (figure 3) à partir du nombre d'essieux de référence et des élongations calculées par Alizé, à la base des renforcements en prenant en compte les nouvelles caractéristiques mécaniques des matériaux. Ainsi, les élongations ou contraintes limites pour 10^6 cycles paraissent correctes pour les bétons bitumineux ($150 \cdot 10^{-6}$), surestimées pour la grave-bitume ($120 \cdot 10^{-6}$), et correctes pour la grave-laitier (1,2 MPa).

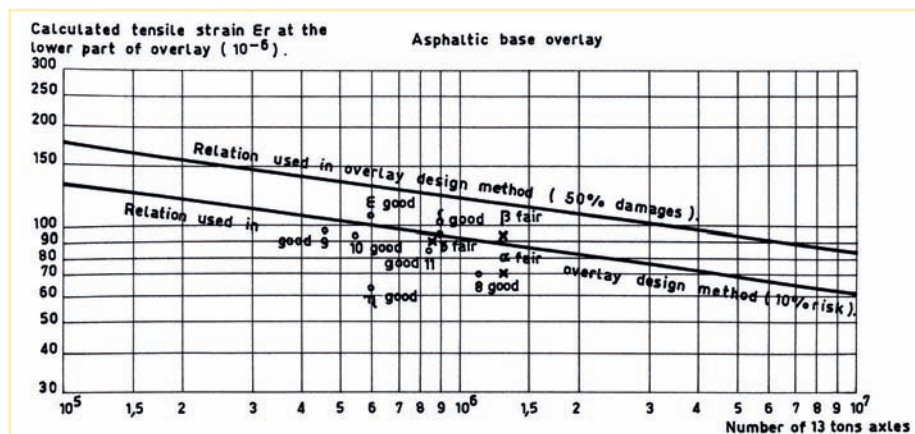


Figure 3
Renforcement en grave-bitume – Situation des sections d'essais (d'après [14])
Roadbase asphalt overlay – location of test sections (according to [14])

Conclusion

La méthode de dimensionnement des renforcements, prenant en compte le phénomène probabiliste du comportement, apporte un progrès dans l'estimation de la durée liée à une probabilité d'entretien.

Méthode de dimensionnement du catalogue 1977 [14]

La méthode est identique à celle développée pour les renforcements. Le catalogue fournit des structures pour des couples classe de trafic/classe de plate-forme support. Les risques sont fonction des classes de trafic. Tous les matériaux font l'objet de caractéristiques mécaniques définies, module et coefficient de Poisson pour les plates-formes et la grave non traitée, module et caractéristiques en fatigue pour les matériaux liés. Pour ce qui concerne les matériaux hydrauliques, les contraintes admissibles sont minorées selon le type de plate-forme.

Pratique d'ALIZÉ 3

Une décennie de caractérisations mécaniques monotones et cycliques des matériaux en laboratoire, d'auscultation et de modélisation de chaussées construites avec ces matériaux conduit à introduire dans l'expression des sollicitations admissibles des coefficients de calage, fonction des matériaux [15]. Pour prendre en compte les nombreux phénomènes non retenus par la méthode rationnelle de dimensionnement, « la répartition exacte des pressions sous les pneumatiques, les gradients thermiques, la présence à terme d'une fissuration transversale, la proximité du bord de la chaussée, la non linéarité des matériaux granulaires et du sol, le caractère visco-élastique des couches bitumineuses, etc., on introduit le coefficient de calage (k) qui établit le lien entre le résultat du calcul initial et l'observation des comportements de routes réelles que l'on a interprétés à l'aide de la méthode rationnelle » [16].

La sollicitation admissible dans le matériau dimensionnant devient : $S_{adm} = k S_N$ (S_N sollicitation prenant en compte, entre autres, les caractéristiques cycliques du matériau, les dispersions d'épaisseur et de qualité, le taux de risque, le trafic cumulé, ...).

Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Entre l'étude de faisabilité du manège et sa mise en service en 1982, une décennie s'est écoulée et les objectifs de départ, principalement axés sur les études des structures à fort trafic, ont été revus [17].

A partir des années 1980, les préoccupations techniques routières portent sur les structures neuves, à faible trafic, innovantes (inverse, tricouche, béton), les tenues des couches de surface aux arrachements et à l'orniérage, l'emploi de matériaux nouveaux (soit à performances modestes valorisant les déchets, soit à performances mécaniques élevées économes en granulats et à longues « durée de vie »). A cela, s'ajoutent les préoccupations d'entretien des chaussées, les solutions anti-remontées de fissure. Les différentes expérimentations manège réalisées jusqu'à ce jour ont apporté des réponses à ces questions. En raison du nombre et de la diversité de ces réponses, il serait impossible de décrire ici de façon exhaustive, les apports des expériences réalisées sur le manège, au développement et à la validation de la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées, codifiée récemment sous forme de norme (NF P 98-086) [18]. Ces expérimentations sont pour certaines présentées dans ce dossier, ou dans des éditions antérieures de la RGRA depuis la fin des années 1980. On décrira ici les apports les plus marquants de ces expériences.

L'évolution du parc poids lourd en France et les futures législations européennes sur les charges à l'essieu obligent à connaître leurs répercussions sur la tenue des structures de chaussées. Le manège va contribuer à apporter des éléments décisionnels grâce aux configurations possibles des charges (jumelage, tandem, tridem).

Les expériences des années 1985-1988 (B0), 1989 (FORCE), 1989-1990 (taxe parafiscale) sur des chaussées souples et semi-rigides ont défini les critères de déformation verticale admissible au niveau des sols support [19] (figure 4), en fonction du nombre de chargements et du type de trafic lourd.

L'expérimentation de trois graves non traitées (taxe parafiscale) [20] de caractéristiques mécaniques différentes (obtenues au triaxial à chargements répétés) a montré l'intérêt du manège pour l'étude du comportement des chaussées souples soumises à des conditions climatiques pluvieuses. Ainsi le comportement des graves non traitées a été très lié à leur nature minéralogique et à leur pouvoir de rétention de l'eau. L'expérience a montré qu'une grave, hors spécifications géotechniques mais possédant des bonnes performances mécaniques dans les essais triaxiaux à chargement répété, avait un comportement satisfaisant. Cela a ouvert la possibilité de son emploi en respectant des conditions de fabrication et de mise en œuvre. Cette expérience, qui a été validée sur un chantier, a apporté une avancée économique importante.

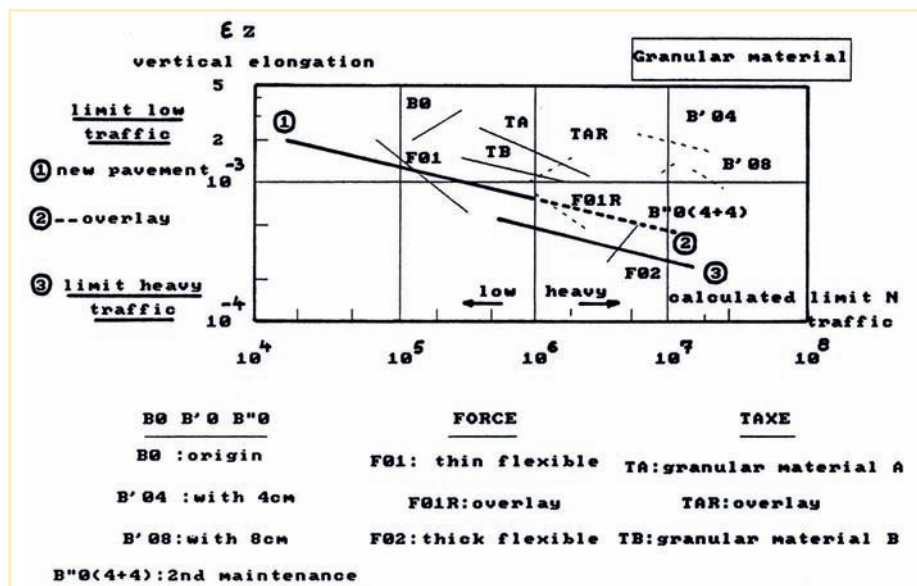


Figure 4
Déformation verticale admissible sur le sol en fonction du nombre de chargements (d'après [20])
Permissible vertical deformation on ground as a function of number of loads (according to [20])

Au niveau modélisation de ces structures comportant des graves non traitées, le développement du module CVCR (chaussée viscoélastique sous charge roulante) du logiciel aux éléments finis César-LCPC [21] qui prend en compte leur comportement élastique non linéaire orthotrope, a permis de relier les résultats laboratoires aux constatations relevées lors de diverses expériences sur le manège de structures souples et donc d'améliorer leur dimensionnement.

L'essai Chaussées en béton [22] (1991-1992) a mis en évidence l'érodabilité des fondations en sable ciment vis-à-vis du béton maigre et l'apport structurel important des dalles goujonnées. Il contribua, avec le suivi de deux structures en béton (la chaussée expérimentale d'Égletons et une section de l'autoroute Paris-Lille) à l'introduction d'un coefficient k_d dans la méthode de dimensionnement prenant en compte l'effet des discontinuités pour les couches de base en graves traitées aux liants hydrauliques et en béton de ciment.

La comparaison, entre les relevés par les jauges des déformations longitudinales et transversales à la base des matériaux bitumineux des structures souples et aux déformations obtenues par le modèle de calcul Alizé lors des calages, nécessitait la prise en compte d'une fréquence double pour le sens longitudinal. Le développement en 1999 du programme Viscoroute [23], prenant en compte la viscoélasticité des matériaux bitumineux, fournit des résultats de déformation proches de ceux enregistrés par les jauges dans les couches bitumineuses. Ce point a été validé par les chargements en configuration tridem.

Compte tenu de la non maîtrise des conditions climatiques sur le manège, les matériaux nouveaux sont comparés à un matériau de référence connu, par exemple la grave-bitume. Ainsi, des structures en matériaux bitumineux à module élevé ou très élevé, en graves-émulsion ont pu être comparées afin de définir des coefficients de correspondance manège.

L'expérimentation des structures inverses sur le manège a permis de comprendre leur fonctionnement, de valider la méthode rationnelle de calcul et d'optimiser l'épaisseur de la grave non traitée à 12 cm.

Toutes ces expériences ont montré la pertinence de la méthode rationnelle de dimensionnement appliquée à ce jour. Elles ont par ailleurs contribué à en préciser les modalités pratiques d'application aux principaux types de structures, ainsi qu'à diverses solutions de matériaux et de structures innovantes proposées par les entreprises.

Note d'utilisation du programme Alizé 3 [24]

Le programme de calcul Alizé 3 ayant été mis à la disposition des LRPC, une note précise son utilisation. Elle est accompagnée de monographies des matériaux usuellement employés. Celles-ci rappellent les spécifications des directives LCPC-SÉTRA en vigueur, les valeurs mécaniques retenues : (module, en fonction de la fréquence et de la température pour les matériaux bitumineux, coefficient de Poisson, caractéristiques en fatigue : pente, déformation admissible pour 10^6 cycles (ϵ_g), dispersion S_N), la dispersion d'épaisseur à la mise en œuvre, la condition de liaison avec l'interface inférieure et le coefficient de calage. La note précise les modules des classes de plates-formes, la modélisation des couches de grave non traitée, les elongations verticales admissibles sur les plates-formes ou le sol support pour les renforcements.

Guide technique

Un document de référence [25], sur le dimensionnement des chaussées est publié en décembre 1994. Il présente, les nombreux progrès réalisés, au niveau des plates-formes, des matériaux nouveaux et détaille le calcul des structures. Le guide décrit les fondements de la vérification au gel/dégel des chaussées et son implication dans le dimensionnement des structures de chaussées.

Conclusion

Depuis 1969, de nombreux moyens ont été mis en œuvre pour disposer d'une méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées neuves et des renforcements. A ce jour, cette méthode, codifiée sous forme de norme AFNOR, semble « robuste » et n'a pas été à l'origine de désordres structurels sur des chaussées en service. Toutefois, celle-ci prend en compte des coefficients de calage (liens entre les observations de comportement et les calculs) dont il serait encore nécessaire de mieux appréhender le contenu et les effets qu'il traduit.

Des améliorations du modèle rationnel sont encore souhaitables, afin de diminuer l'importance de ce coefficient et d'établir plus précisément la relation entre l'endommagement en un point de la structure et sa conséquence à la surface de la chaussée. Ces améliorations supposent notamment de compléter les connaissances sur :

- les caractéristiques mécaniques monotones et cycliques tridimensionnelles des matériaux en fonction de la température, de leur teneur en eau, et du temps (vieillessement) ;
- les sollicitations réellement produites par le passage de charges roulantes appliquées par des pneumatiques, au moyen d'outils de modélisation avancés, prenant en compte de façon plus précise le comportement rhéologique des matériaux en présence, et des sols ;
- les conditions aux interfaces des couches en fonction du temps et des conditions climatiques.

Le développement du programme Viscoroute prenant en compte la viscoélasticité des matériaux bitumineux, fournit des résultats de déformation proches de ceux enregistrés par des jauges dans les couches bitumineuses.

Dans ce contexte, les essais sur le manège de fatigue de Nantes ont apporté une forte contribution à la conception des chaussées autant pour ce qui concerne les matériaux et les structures que les modèles de calcul. A ce jour, l'amélioration des connaissances sur le cumul des dommages est indispensable pour établir des stratégies d'entretien des chaussées et le manège de fatigue est un des éléments déterminants. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Bonitzer, Où en est le calcul des chaussées après la deuxième Conférence d'Ann Arbor, BLPC, spécial K, décembre 1968
- [2] M. Chantereau et Ph. Léger, Le Catalogue de structures types de chaussées de la direction des Routes, BLPC n° 61, septembre-octobre 1972
- [3] Direction des routes et de la circulation routière, Dimensionnement des renforcements et de chaussées souples, guide technique, juin 1978
- [4] J. Lasalle et G. Langumier, A method for strengthening flexible pavement, CR deuxième conférence internationale sur le dimensionnement des chaussées souples, Ann Arbor 7-11 août 1967
- [5] P. Autret, Utilisation du produit RD pour l'auscultation des chaussées à couche de base traitée, BLPC n° 42 – décembre 1969
- [6] Ph. Léger et P. Autret, Utilisation des mesures de déflexion pour le dimensionnement et la surveillance des chaussées, BLPC n° 62, novembre-décembre 1972
- [7] E.-J. Yoder et M. Witczak, Principles of pavement design, octobre 1975
- [8] A. de Boissoudy, J.-C. Gramsammer, C. Peyronne, Stage ENPC 1979 - Session Dimensionnement des chaussées neuves et des renforcements – les données expérimentales du calage des modèles
- [9] C. Peyronne, G. Caroff, Cours de routes – Dimensionnement des chaussées 1984 – Presses de l'ENPC
- [10] M. Siffert, Les chaussées d'essai, premiers enseignements – BL Laboratoire des ponts et chaussées n°53 -1971
- [11] A. de Boissoudy, M. Siffert, J.-F. Griselin – Sections d'essais ; le dimensionnement ; enseignement des sections ; rapport LCPC, 1976
- [12] J. Bonnot, A de Boissoudy, La mécanique des chaussées : son évolution, ses préoccupations actuelles – BL PC n° 125 figure 8
- [13] J. Bonnot, P. Autret, A de Boissoudy, Design of asphalt overlays for pavements, 4th international conference on the structural design of asphalt pavements, Ann Arbor, Michigan, août 1977
- [14] Direction des routes et de la circulation routière, Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves, 1977
- [15] P. Autret, A. Baucheron de Boissoudy, J.-P. Marchand – ALIZÉ 3 Practice, 5^e Conférence internationale sur la conception des structures de chaussées en asphalte, Delft, août 1982, University of Michigan, Delft University of technology
- [16] J. Bonnot, A de Boissoudy, La mécanique des chaussées : son évolution, ses préoccupations actuelles – BL PC n° 125, 1983
- [17] A. de Boissoudy, Les objectifs d'un manège de fatigue dans le cadre de la recherche routière française, Colloque international sur les essais routiers en vraie grandeur, Zurich mai 1982
- [18] NF P 98-086, norme Dimensionnement structurel des chaussées routières – Application aux chaussées neuves, octobre 2011
- [19] A. de Boissoudy, J.-C. Gramsammer, J.-P. Kerzreho, The circular test track facility and road maintenance studies on flexible pavements, 7th international conference on asphalt pavements, Ann Arbor, Nottingham 1992
- [20] H. Odéon, J.-P. Kerzreho, R. Kobisch, J.-L. Paute, Expérimentation de trois graves non traitées sur le manège de fatigue du LCPC, BLPC n° 189 janvier-février 1994
- [21] J.-M. Balay, A.G. Correia, P. Jouve, P. Hornych, J.-L. Paute, Etude expérimentale et modélisation du comportement mécanique des graves non traitées et des sols supports de chaussées : dernières avancées BLPC n° 216, juillet-août 1998
- [22] J.-M. Balay, J.-C. Gramsammer, J.-L. Nissoux, A. Sainton, Experiment of concrete pavements at LCPC's Fatigue Test Track Congrès de Purdue 1992
- [23] A. Chabot, O. Chupin, L. Deloffre, D. Duhamel, Viscoroute 2.0 : a tool for simulation of moving load effects on asphalt pavement. Road Materials and Pavement Design Journal, Special Issue on recent Advances in Numerical Simulation of Pavements 2010
- [24] <http://www.lcpc.fr/francais/produits/lcpc-produits-alize-lcpc-routes/>
- [25] J.-F. Corté, Guide technique LCPC-SETRA, Conception et dimensionnement des structures de chaussée – décembre 1994



Genesis of French road pavement structural design method Role of fatigue test track

The aim of this summary is to present the evolution of pavement structural design methods from 1968 to the present (with regard to which the test track played a major role). The great synergy between the research conducted at the LCPC (central road research laboratory) and at LRPC (regional road research laboratories) and the drafting of directives, recommendations, and technical guides by SÉTRA (road and motorway engineering research agency) and LCPC (documents including its Catalogue of typical pavement structures, and its Structural design of flexible pavement overlays) is an essential factor enabling contracting authorities, prime consultants and road-building contractors to produce pavements offering the performance required by users as well as by owner authorities.

J. Bonitzer [1], after the second international conference of Ann Arbor in 1967, defined a rational approach to pavement structural design: "The guidelines of this approach are based on the design of bridges and other civil engineering structures: stresses and strains are calculated under load; these values are compared with those that the materials used can withstand without failure, and in each case the structure will be designed so that it can withstand the expected loads."

Two main periods are thus to be distinguished in France for rational structural design of road pavements:

- 1968-1972, publication of first catalogue of structures of 1971 [2];
- 1972-1994, application of a rational structural design method for new pavements and overlays [3].

The contribution of the fatigue test track to these design methods began as soon as it went into service as of 1985.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEUR

Hugues Odéon
Chef de groupe
Géotechnique-Terrassements-Chaussées
CETE de l'Est - LRPC de Strasbourg

Remerciements

L'auteur souhaite remercier Chantal de La Roche pour ses travaux réalisés en laboratoire sur la fatigue des matériaux bitumineux parallèlement aux expérimentations menées sur le manège, et dont les résultats ont été utilisés pour l'exploitation des expérimentations.



Chaussée expérimentale fissurée par fatigue
Test pavement cracked by fatigue

Expérimentations sur la fatigue des matériaux bitumineux



De 1990 à 1994, trois expérimentations successives furent menées sur le manège de fatigue du LCPC à Nantes. Elles visaient à :

- Mieux comprendre le comportement relatif de matériaux bitumineux élaborés à partir de bitumes de même grade, mais aux caractéristiques différentes, conduisant à des comportements à la fatigue différents.
 - Optimiser le dimensionnement des enrobés à module élevé (EME), et
 - Identifier un essai de fatigue plus pertinent que celui couramment utilisé (essai à déformation imposée, à 10 °C et 25 Hz).
- Ce vaste programme expérimental permet de valider le coefficient de calage des EME, de confirmer l'amélioration issue de l'ajout de polymères de type styrène-butadiène-styrène (SBS) dans le comportement à la fatigue d'un matériau bitumineux, et d'apprécier le bénéfice que pourraient apporter des essais de fatigue à contrainte imposée avec temps de repos dans l'analyse du comportement de chaussées bitumineuses épaisses à la fatigue.

Objectifs

Depuis son élaboration dans les années 1960, la méthode française de dimensionnement des chaussées repose sur la ruine par déformation permanente des couches non liées, et par fissuration par fatigue des couches liées. Les critères de ruine sont exprimés en déformation et contrainte. Des valeurs calculées à l'aide du modèle multi-couches élastique de Burmister sont comparées à des valeurs admissibles issues de l'expérience pour les couches non liées, ou d'essais de fatigue en laboratoire pour les couches liées.

Le comportement en fatigue des matériaux liés est ainsi étudié en laboratoire selon des modalités d'essais fixées au début des années 1970. Pour les matériaux bitumineux dont le comportement dépend à la fois de la température et de la fréquence, l'essai est réalisé pour un seul couple de valeurs, à 10 °C et 25 Hz ;

la durée de l'essai et son coût justifient cette simplification. La durabilité des couches liées appréciée par la méthode de dimensionnement dépend ainsi directement de la performance en fatigue du matériau mesurée en laboratoire.

Le lien entre les performances du liant et celles du mélange bitumineux n'a jamais été clairement établi. Quelques constats expérimentaux ont toutefois permis d'orienter les travaux sur les mélanges : l'augmentation de la teneur en liant améliore le comportement en fatigue du mélange, une compacité accrue du mélange produit le même effet, le choix d'un bitume dur réduit la déformabilité du mélange et agit ainsi indirectement sur sa durabilité.

D'autres résultats posaient question : ainsi, deux matériaux bitumineux élaborés à partir du même squelette granulaire, avec deux bitumes de même grade mais d'origines différentes, conduisaient à des résultats en fatigue très différents. Ce dernier résultat expérimental a conduit le LCPC et l'USAP⁽¹⁾ à mener, avec l'aide des sociétés Shell, puis Antar France, un programme expérimental important associant caractérisation en laboratoire, expérimentation manège et analyse calculatoire, entre 1990 et 1994. Les buts poursuivis étaient de :

1. Comparer le comportement de deux enrobés bitumineux de même composition, élaborés avec deux bitumes purs de même grade, aux comportements différents à la fatigue.

⁽¹⁾USAP : Union des sociétés d'autoroutes à péage, devenue aujourd'hui l'Association des sociétés françaises d'autoroutes (ASFA)

2. Evaluer dans les mêmes conditions expérimentales le comportement d'un EME comparativement à une grave-bitume (GB) de référence, et l'importance de l'épaisseur sur la durabilité de la structure.

3. Valider la méthode de dimensionnement des chaussées et rechercher des modalités d'essai de fatigue en laboratoire rendant mieux compte du comportement observé sur chaussées réelles.

Ce programme expérimental comporta trois phases successives.

- Une première phase impliqua deux bétons bitumineux (BB), un EME et une GB, de mêmes squelette granulométrique et teneur en liant, mais avec des bitumes de même grade induisant des résultats d'essai de fatigue en laboratoire différents.

- La deuxième phase consista à reconduire la première expérimentation, pour la consolider.

- La troisième phase permit d'évaluer le rôle de l'épaisseur du matériau sur le comportement d'un EME, et d'apprécier l'apport d'un bitume modifié par rapport à un bitume pur.

Les principaux résultats issus de ce programme sont résumés ci-après.

Éléments communs aux trois expérimentations

Les trois phases successives partagent en commun les éléments suivants :

1. La charge appliquée sur les structures expérimentales est le jumelage de 65 kN, représentatif du demi-essieu de référence.

2. La vitesse d'application de la charge correspond à 10 tours/min, avec pour les phases 1 et 2 un rayon moyen de la charge de 19 m (soit une vitesse linéaire moyenne de 71,6 km/h), et pour la phase 3 un rayon moyen de la charge de 18 m (soit une vitesse linéaire moyenne de 67,8 km/h).

3. La charge effectue un balayage transversal par rapport au rayon moyen représentatif d'un balayage sur chaussée réelle (procédure habituelle sur le manège de fatigue).

4. Tous les matériaux bitumineux testés, de granularité 0/14 mm, ont été élaborés avec des granulats de la carrière de La Noubleau.

5. La couche de fondation est une grave non traitée (GNT) de 0,40 m d'épaisseur, élaborée à partir de granulats de la carrière de La Noubleau (GNT 0/14 ou 0/20).

6. Le sol support est de portance faible (California Bearing Ratio, CBR, de 5 à 10 %).

Pour chaque phase expérimentale, les caractéristiques des matériaux bitumineux issues des essais en laboratoire ont été utilisées comme paramètres d'entrée de la méthode rationnelle de dimensionnement, afin d'interpréter au mieux les résultats expérimentaux.

Expérimentation 1

La première phase avait pour buts de :

1. Comparer deux BB élaborés avec des bitumes purs de même grade, mais d'origines différentes, conduisant à des résultats de laboratoire en fatigue très différents.

2. Comparer le comportement d'un EME à celui d'une GB de référence, dimensionnés pour la même durée de vie.

L'expérimentation s'est déroulée d'octobre 1990 à juillet 1991, par l'application de 2 730 000 chargements au total.

Essais en laboratoire ([1])

Concernant les bitumes, les essais de caractérisation ont été réalisés sur des échantillons prélevés en centrale, et sur du matériau extrait de plaques prélevées sur le manège.

Les principales caractéristiques des bitumes sont récapitulées dans le tableau 1.

Concernant les matériaux bitumineux, les essais de module et fatigue ont été réalisés sur des enrobés prélevés sur site. La détermination du module complexe a été menée de façon exhaustive (conformément à la norme NF P 98-260-2 [2]) par le LRPC de Bordeaux, et des mesures de module ont également été réalisées au début de chaque essai de fatigue.

Quelques valeurs significatives sont rapportées dans le tableau 2.

La fatigue a été étudiée selon sept modalités différentes (tableau 3), couvrant des essais à déformation ou à contrainte constante, avec ou sans temps de repos, pour des éprouvettes prismatiques ou trapézoïdales, dans l'air ou dans l'eau. Les caractéristiques en fatigue dépendent des modalités de l'essai, tout comme le classement relatif des matériaux. On peut noter, en particulier, que :

- Les temps de repos augmentent considérablement la durée de vie pour tous les matériaux.
- L'EME C a des performances bien meilleures que celles des deux BB dans les essais à contrainte imposée, alors que ses performances sont proches de celles du BB B dans les essais à déformation imposée.

Caractéristiques	BB B		BB A		EME C		GB A	
	Péné	TBA	Péné	TBA	Péné	TBA	Péné	TBA
Liant originel	61	51	61	51	16	69,5	64	48
Péné : pénétrabilité à 25 °C (1/10 mm) TBA : température bille-anneau (°C)								

Tableau 1

Principales caractéristiques des liants bitumineux

Main properties of bituminous binders

	BB B	BB A	EME C	GB A
E (MPa) (10 °C, 10 Hz)	10 300	12 375	15 000	13 500
E (MPa) (20 °C, 10 Hz)	5 100	5 900	9 800	7 100

Tableau 2

Module des matériaux bitumineux – Essais fatigue phase 1

Modulus of bituminous materials – Phase 1 fatigue tests

Déformation imposée	BB B		BB A		EME C		GB A	
	ϵ_6	-1/b	ϵ_6	-1/b	ϵ_6	-1/b	ϵ_6	-1/b
cont. 10 °C-25 Hz	140	6,3	90	5,2	140	5,3	88	4,3
cont. 20 °C-25 Hz	169	6,0	104	5,2	159	5,7	91	4,1
cont. Eau 10 °C-25 Hz	143	3,7	92	4,5	136	5,9	91	5,7
cont/disc (*) 20 °C-25 Hz	1/4		1/2		1/3		1/1	
Contrainte imposée	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b
cont. 20° C-25 Hz	0,67	5,5	0,58	4,4	1,38	6,2	0,67	7,0
cont. 20 °C-40 Hz	1,19	6,1	1,13	6,2	1,91	5,9	-	-
Disc 1:5 20 °C-40 Hz	1,68	6,9	1,70	9,0	2,20	3,4	-	-

cont : essai en continu ; disc 1:5 : essai discontinu par pulsation (une unité de sollicitation pour 5 de repos)

(*) rapport entre nombres de cycles en continu/discontinu à 10 °C-25 Hz, obtenu à 200 µdef

Tableau 3

Essais de fatigue sur matériaux bitumineux – Essais fatigue phase 1

Fatigue tests on bituminous materials – Phase 1 fatigue tests

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Essais manège

L'épaisseur nominale des structures S1, S2 et S3 était de 8 cm, et de 12 cm pour la structure S4 en GB A ; les quatre structures étaient recouvertes par un béton bitumineux très mince (BBTM). Après mise en œuvre, les épaisseurs réelles des couches bitumineuses (BBTM compris) étaient, pour les structures S1 à S4, respectivement de 8,8 cm, 8,4 cm, 8,8 cm et 11,6 cm, pour une épaisseur de GNT de l'ordre de 43 cm.

Le déroulement de l'expérimentation se fit en deux étapes :

- Une première période, qualifiée de froide, d'octobre à décembre 1990, au cours de laquelle 1 165 000 chargements furent appliqués (90 % des températures entre 0 °C et 15 °C) ; cette première étape fut interrompue lorsque des fissures sont apparues sur S1 et S2 ; la structure en EME C était alors peu fissurée (11 %), celle en GB A pas du tout.
- Une seconde période, qualifiée de chaude, de mai à juillet 1991, au cours de laquelle 1 565 000 chargements supplémentaires furent appliqués (80 % des températures entre 15 °C et 20 °C). L'expérimentation fut stoppée lorsque les quatre structures eurent développé des fissures en nombre significatif.

L'évolution de l'étendue de la fissuration au cours de la phase 1 est récapitulée figure 1.

Parallèlement au développement de la fissuration, la déflexion augmenta continuellement au cours de la période froide, probablement en raison de la montée de la teneur en eau du sol support, puis diminua au début de la période chaude avant de croître à nouveau avec le développement de la fissuration.

En dépit d'une fissuration importante en fin d'expérimentation, aucune des structures ne développa de déformation transversale marquée (orniérage à grand rayon).

Si l'on suppose que la ruine de la structure est atteinte pour 50 % d'étendue de fissuration, cette première phase expérimentale permet de conclure que :

- La structure S1 (BB B) était la plus fragile.
- Les structures S1 (BB B) et S2 (BB A) ont eu une durée de vie analogue, si l'on considère les épaisseurs vraies des couches de BB (respectivement 6,7 cm et 7,3 cm).
- La structure S3 (EME C) a eu une durée de vie identique à S2, avec un début de fissuration plus tardif et un développement de la fissuration très rapide.
- La structure S4 apparaît plus durable que S3, bien que toutes deux aient été calculées pour une même durée de vie théorique.

Interprétation

La partie interprétation avait pour but de valider les observations faites sur manège par un calcul mené conformément à la méthode française de dimensionnement, à partir des résultats de laboratoire ; les différentes modalités d'essais de fatigue testées visaient à explorer si l'une d'elles rendrait mieux compte de la « réalité » expérimentale.

Dans cette approche, un modèle des structures testées dut d'abord être défini, recourant aux caractéristiques des matériaux bitumineux issues des essais de laboratoire, et à une estimation des modules du sol et de la GNT obtenue par calage inverse à partir de la déformabilité des différentes structures.

Le module de sol fut ainsi calé à 35 MPa. Ce modèle des chaussées expérimentales permit, d'une part de déterminer les sollicitations induites dans les structures lors de l'expérimentation, d'autre part d'évaluer la durée de vie attendue. Ces valeurs issues du calcul purent alors être analysées en regard de celles relevées sur les chaussées expérimentales.

Pour les sollicitations, l'utilisation des modèles ainsi calés mit en évidence que :

- Les déformations calculées à l'aide du modèle élastique et des modules des enrobés bitumineux mesurés en laboratoire étaient systématiquement plus grandes que celles obtenues sur les structures expérimentales ; la déformation longitudinale était toujours la plus grande, ce qui est observé généralement sous le jumelage de référence.
- L'adoption d'une empreinte de forme rectangulaire réduisait l'écart entre déformation mesurée et déformation calculée pour ces structures souples.
- Le fait de distinguer pour S3 et S4 des zones d'épaisseurs sensiblement différentes améliorerait l'estimation de la déformation mesurée par zone.

Pour l'estimation de la durée de vie, l'application de la démarche rationnelle montra que :

- La valeur d' ϵ_6 issue de l'essai de fatigue de référence (continu dans l'air à 10 °C-25 Hz) était prépondérante sur la durée de vie calculée de la chaussée ; mais elle ne permettait pas de rendre compte du classement relatif observé sur les structures expérimentales à 50 % d'étendue de fissuration, toutes choses égales par ailleurs.
- Si le coefficient de calage des matériaux est utilisé comme valeur d'ajustement, alors celui de l'EME C serait de 1, et celui de la GB A de 1,6 pour un coefficient de calage du BB de 1,1.
- La modalité d'essai de fatigue à contrainte imposée dans l'air, discontinue, à 20 °C et 40 Hz conduisait au même coefficient de calage pour les deux BB A et BB B, et à une valeur un peu plus élevée pour celui de l'EME C. Cette modalité était celle qui répondait le mieux au comportement relatif observé des deux BB.

Expérimentation 2 : réplique de l'expérimentation 1 ([3, 4])

Il fut décidé de reproduire la phase 1 afin d'en valider les principales conclusions. Cette deuxième phase expérimentale fut menée de novembre 1991 à janvier 1992 sur le même site que la première, conduisant à l'application de 1 400 000 chargements.

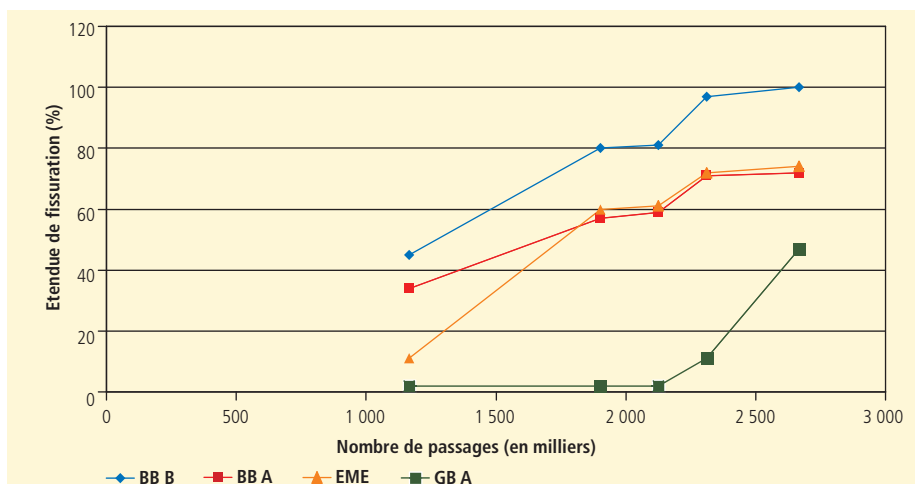


Figure 1
Etendue de la fissuration – Essais fatigue phase 1
Extent of cracking – Phase 1 fatigue tests

IFSTTAR

Essais en laboratoire

Les bitumes et matériaux bitumineux utilisés ont été les mêmes que ceux de la phase 1.

Les mesures de module complexe indiquent que les matériaux de cette deuxième phase étaient sensiblement plus rigides que ceux de la phase 1, de 13 à 30 % selon le matériau.

De nouvelles modalités d'essais de fatigue furent étudiées par différents laboratoires partenaires (LRPC d'Angers et de Bordeaux, Shell), afin d'élargir le spectre des résultats disponibles. On explora notamment les essais de fatigue avec temps de repos, sous forme de pulsations (un temps d'impulsion pour 5 ou 10 temps de repos) ou de salves (8 secondes de sollicitations pour 80 secondes de repos).

Essais manège

Les structures testées étaient les mêmes que lors de l'expérimentation 1, à trois détails près :

- Les implantations des structures S1 et S2 d'une part, et S3 et S4 d'autre part ont été échangées, pour s'affranchir d'un effet « plate-forme ».
- L'épaisseur théorique de la structure en GB A a été réduite de 12 cm à 10 cm.
- Le BBTM, qui avait nui au relevé de dégradations lors de la phase 1, a été supprimé.

Après mise en œuvre, les épaisseurs réelles des couches bitumineuses étaient, pour les structures S1 à S4, respectivement de 9,3 cm, 7,8 cm, 11,1 cm et 5,6 cm, pour une épaisseur de GNT de l'ordre de 43 à 51 cm. L'épaisseur des structures était d'une régularité remarquable (écart-type de 0,3 à 0,6 cm) sur une aussi faible longueur.

Le déroulement de l'expérimentation fut marqué par une première période de fortes pluies, au cours de laquelle 500 000 chargements furent appliqués, puis une seconde période sans pluie qui permit de mener l'expérimentation jusqu'à 1 100 000 cycles. Les températures oscillèrent entre 0 °C et 12 °C, comme lors de la période froide de la phase 1. L'évolution de l'étendue de la fissuration au cours de la phase 2 est récapitulée figure 2. Les structures S2, S3 et S4 se sont dégradées rapidement et de façon similaire lors de la période de fortes pluies, affectées très probablement par la chute de portance des couches non traitées sous-jacentes ; ce comportement est caractéristique de chaussées souples. Puis, cette évolution s'est stabilisée avec la période sèche.

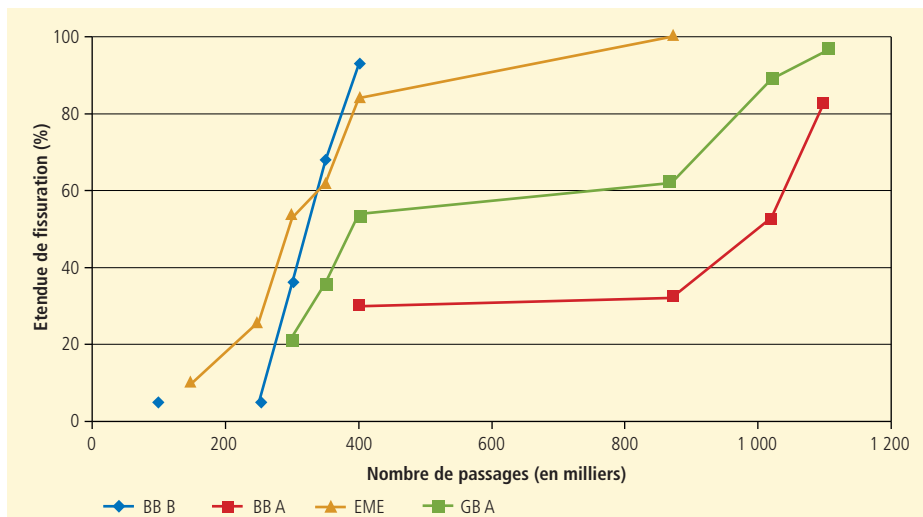


Figure 2
Etendue de la fissuration – Essais fatigue phase 2
Extent of cracking – Phase 2 fatigue tests

La structure S1, jusque là peu endommagée, s'est alors dégradée sous l'effet du seul trafic.

Parallèlement au développement de la fissuration, la déflexion augmenta continuellement au cours de la première période humide de l'expérimentation, puis se stabilisa lors de la période sèche.

Interprétation

La détermination du module du sol support conduisit à retenir une valeur de 30 MPa, plus faible que celle de la phase 1, qui s'explique par les conditions hydriques défavorables.

Les résultats obtenus pour la phase 2 confirmèrent bien ceux de la phase 1, tant pour les sollicitations (valeurs calculées plus grandes que valeurs mesurées, amélioration de la modélisation par le recours à des empreintes rectangulaires) que pour l'estimation de la durée de vie (coefficient de calage de l'EME inférieur à celui d'un BB, essais de fatigue avec temps de repos améliorant l'estimation de la durée de vie, essai de fatigue à contrainte imposée favorisant l'estimation du comportement relatif entre matériaux).

Expérimentation 3

Le but de la phase 3 était sensiblement différent. Il s'agissait :

- D'une part, d'améliorer la compréhension du comportement des EME pour en optimiser le dimensionnement, en étudiant un autre mélange en deux épaisseurs.

- D'autre part, d'évaluer l'apport des bitumes modifiés sur le comportement à la fatigue de matériaux bitumineux.

3,2 millions de chargement furent appliqués au cours de cette phase 3, de novembre 1993 à avril 1994.

Essais en laboratoire

Concernant les bitumes, deux nouveaux produits ont été utilisés : le bitume 50/70 modifié au SBS pour la fabrication du BB S, et un nouveau bitume dur 10/20 pour l'EME D (tableau 4).

Les matériaux bitumineux s'avèrent un peu plus rigides que ceux des phases 1 et 2 (tableau 5).

Caractéristiques	BB B		BB S		EME D	
	Péné	TBA	Péné	TBA	Péné	TBA
Liant original	61	51	59	60	20	63

Péné : pénétrabilité à 25 °C (1/10 mm) TBA : température bille-anneau (°C)

Tableau 4
Principales caractéristiques des liants bitumineux (essais fatigue phase 3)
Main properties of bituminous binders (Phase 3 fatigue tests)

	BB B	BB S	EME D
E (MPa) (10 °C, 10 Hz)	12 400	11 300	18 800
E (MPa) (20 °C, 10 Hz)	6 100	5 300	12 300

Tableau 5
Module des matériaux bitumineux (essais fatigue phase 3)
Modulus of bituminous materials (Phase 3 fatigue tests)

Les résultats d'essais de fatigue menés spécifiquement pour cette phase 3 sont récapitulés dans le tableau 6.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Déformation imposée	BB B		BB S		EME D	
	ϵ_6	-1/b	ϵ_6	-1/b	ϵ_6	-1/b
cont 10 °C-25 Hz	140	6,3	175	6,1	141	6,1
cont 20 °C-40 Hz	140	6,7	237	7,5	133	5,8
disc 1:10 20 °C-40 Hz	163	4,9	292	4,9	187	7,4
Contrainte imposée	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b
cont. 20 °C-40 Hz	0,66	6,2	0,82	5,5	-	-
disc 1:10 Air 20 °C-40 Hz	1,02	5,6	1,41	9,2	2,30	8,8

cont : essai en continu disc 1 :10 : essai discontinu par pulsation (une unité de sollicitation pour 10 de repos)

Tableau 6
Essais de fatigue complémentaires sur matériaux bitumineux (essais fatigue phase 3)
Additional fatigue tests on bituminous materials (Phase 3 fatigue tests)

Essais manège

Le site adopté était différent de celui des phases 1 et 2. Outre la structure en BB B servant de référence (structure S1), ont été testées une structure avec un BB à liant modifié au SBS, dénommé BB S (structure S2), et deux structures avec un EME différent de celui des phases 1 et 2, dénommé EME D (structures 3 et 4). L'épaisseur théorique de matériau bitumineux des trois premières structures faisait 8 cm, et celle de l'EME de la structure 4, 10 cm. Après mise en œuvre, les épaisseurs réelles des couches bitumineuses étaient, pour les structures S1 à S4, respectivement de 8,6 cm, 8,4 cm, 9,1 cm et 11,1 cm, pour une épaisseur de GNT de 40 cm.

L'hiver fut relativement doux (90 % des chargements furent appliqués entre 5 °C et 20 °C), très pluvieux lors de l'application du premier million de chargements, et moins pluvieux sur la seconde partie de l'expérimentation.

En termes de dégradation des structures (figure 3), l'évolution de la fissuration fut très rapide pour la structure 1 (92 % d'étendue de fissuration après 1 000 000 de chargements, nécessitant réparation, photo 1), et d'évolution plus tardive mais similaire pour les structures 2 et 3 d'épaisseurs voisines (réparation à 2,2 millions de chargements). La structure 4, plus rigide, suivit une évolution plus lente, atteignant seulement 40 % d'étendue de fissuration après 3 200 000 cycles.

La déflexion, mesurée tout au long de l'expérimentation, traduisait à la fois l'augmentation du taux de fissuration relevé sur chaussées et la perte de portance du sol support.

En comparant le nombre de cycles conduisant à 50 % d'étendue de fissuration, cette phase 3 permet de conclure que :

- L'adoption d'un bitume modifié (BB S sur S2) améliorait la durée de vie du BB B (S1) de façon significative, toutes choses égales par ailleurs (durée de vie multipliée par 2).

- La structure S3 (EME) avait eu une durée de vie similaire à S2.
- La structure S4 (EME), un peu plus épaisse que S3 (respectivement 11,5 cm et 9,1 cm), apparaissait beaucoup plus durable que S3 (durée de vie multipliée par 2,5).

Interprétation

L'anneau sur lequel fut réalisée la phase 3 était différent de celui retenu pour les phases 1 et 2, bien que le sol support fut de même nature. Le module de celui-ci fut estimé par calcul inverse à 25 MPa. La rigidité des couches en EME D nécessita d'adopter des modules différents pour les couches de GNT, plus élevés sous les structures 3 et 4 (300 MPa pour la couche inférieure en GNT et 450 MPa pour la couche supérieure) que sous les structures 1 et 2 (respectivement 125 et 300 MPa), rendant ainsi compte du caractère non linéaire de ces matériaux granulaires.

L'estimation des déformations par le calcul s'avéra difficile : les valeurs calculées étaient environ doubles de celles mesurées.

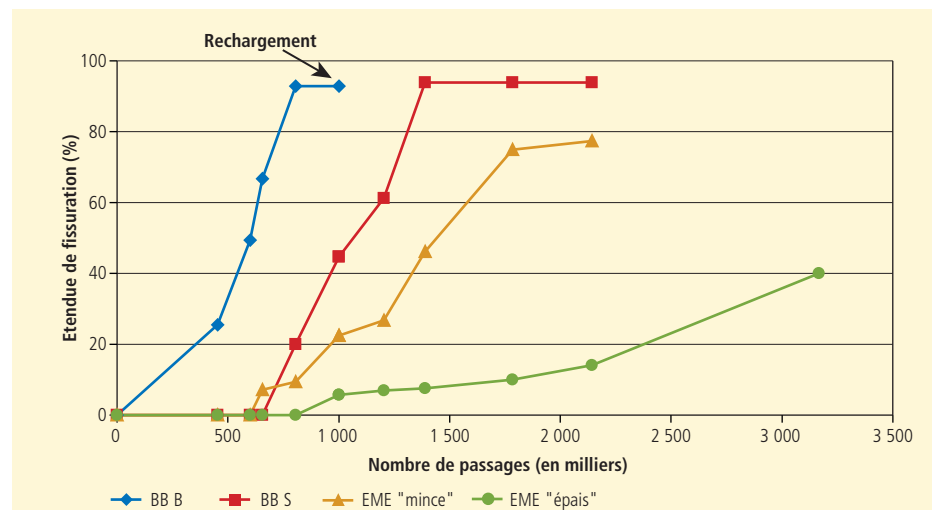


Figure 3
Etendue de la fissuration (essais fatigue phase 3)
Extent of cracking (Phase 3 fatigue tests)



Photo 1
Fissuration de la structure 1 après 800 000 cycles (essais fatigue phase 3)
Cracking of structure 1 after 800,000 cycles (Phase 3 fatigue tests)

Une fois encore, l'adoption d'empreintes rectangulaires permet d'obtenir des déformations calculées plus réalistes, mais toujours supérieures aux mesures ; les déformations longitudinales étaient plus fortes que les déformations transversales, tant au niveau mesures que calculs, confirmant l'apparition de fissures transversales.

L'analyse de l'expérimentation en termes de durées de vie fut conduite, comme pour les phases 1 et 2, comparativement aux nombres de cycles associés à 50 % d'étendue de fissuration.

La modélisation rendait bien compte de la variation d'épaisseur de l'EME D sur la durée de vie, le coefficient de calage des deux structures 3 et 4 étant à peu près le même. Le coefficient de calage de l'EME D était toujours inférieur à celui des deux BB.

Si l'on considère l'approche utilisant les résultats d'essai de fatigue à déformation imposée, on constate que :

- Les coefficients de calage des deux BB étaient similaires, quelle que soit la modalité d'essai.
- L'estimation relative de la durée de vie des différentes structures était améliorée avec les résultats d'essais avec temps de repos, sans pour autant permettre une estimation fiable dans l'absolu.

Si l'on considère l'approche utilisant les résultats d'essai de fatigue à contrainte imposée, on constate que :

- Les tests en continu n'amélioraient pas fondamentalement l'estimation des durées de vie.
- L'estimation absolue de la durée de vie des différentes structures était améliorée avec les résultats d'essais avec temps de repos, mais pas en relatif.

Synthèse

Les trois premières conclusions issues de ces expérimentations fatigue ont été directement valorisées, et n'ont pas été démenties depuis.

- Le coefficient de calage à retenir pour les EME est inférieur à celui des BB : cela confirme la valeur de $k_c = 1$ déjà retenue, sur la base de chaussées expérimentales.
- L'utilisation d'un EME en faible épaisseur sur couche granulaire conduit à un comportement fragile du matériau (développement rapide de la fissuration).
- Le BB S (au bitume modifié par des SBS) confirme son bon comportement par rapport à un BB classique, améliorant sensiblement la durée de vie sur structure souple.

Les conclusions suivantes ont amélioré la compréhension des mécanismes en jeu, sans pour autant pouvoir être traduites directement au niveau pratique :

- Le comportement relatif des deux BB A et BB B est mieux appréhendé à travers les essais de fatigue à contrainte imposée, mais l'estimation de la durée de vie absolue n'est pas améliorée par rapport à l'essai de fatigue classique.
- L'utilisation d'essais de fatigue avec temps de repos améliore l'estimation de la durée de vie observée sur structures expérimentales, sans rendre compte de leur comportement relatif.
- Les deux points précédents conduisent à ne pas abandonner l'essai de fatigue usuel, au profit d'un autre essai n'améliorant qu'une partie des problèmes rencontrés.

- Pour des chaussées souples, l'adoption d'empreintes rectangulaires, proches des empreintes réelles des pneumatiques, améliore l'estimation des sollicitations.

En 1971, la notion de *Mode Factor (MF)* fut proposée par Monismith ([5]) pour identifier le mode sur lequel fonctionne une chaussée bitumineuse : une légère variation du module entraîne une variation conséquente de la déformation et de la contrainte.

Par construction, le *Mode Factor* vaut :

$$MF = (A-B)/(A+B), \text{ où}$$

- A est la variation relative de contrainte, et
- B la variation relative de déformation.

Une analyse des douze structures testées au cours de ces trois expérimentations fatigue menée selon le *Mode Factor* montre que, en raison de leur faible épaisseur, aucune de ces structures ne fonctionnait clairement à déformation imposée (*MF* voisin de 1), ou à contrainte imposée (*MF* voisin de -1). Cela expliquerait qu'aucun des différents essais de fatigue retenus ne permettait d'expliquer clairement le comportement des différentes structures testées sur le manège.

Un rapide calcul montre que les chaussées bitumineuses épaisses couramment rencontrées en France fonctionneraient plutôt à contrainte constante (*MF* négatif). On atteint là l'une des limites d'utilisation du manège : la durée nécessaire à l'évaluation d'une chaussée bitumineuse épaisse à la fatigue sur le manège est incompatible avec les contraintes financières que cela requerrait. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] La Roche (de) C., Odéon H., Simoncelli J.-P., Spornol A. (1994) : *Study of fatigue in asphalt pavements using the LCPC's test track in Nantes*, TRB 73rd annual meeting, Washington DC (USA), n°1436, pp. 17-27
- [2] NF P 98-260-2 : Essais relatifs aux chaussées – Détermination des caractéristiques rhéologiques des mélanges hydrocarbonés – Détermination du module complexe par flexion sinusoidale (périmée), septembre 1992
- [3] Odéon H., Gramsammer J.-C., Caroff G. (1997) : *Asphalt mix fatigue behavior : experimental structures and modeling*, Proceedings of the 8th International Conference on Asphalt Pavements, Seattle (USA), August 10-14, pp. 881-897
- [4] La Roche (de) C., Rivière N. (1997) : *Fatigue behavior of asphalt mixes : influence of laboratory test procedures on fatigue performances*, Proceedings of the 8th International Conference on Asphalt Pavements, Seattle (USA), August 10-14
- [5] Monismith C.L., Salam Y.M. (1973) : *Distress characteristics of Asphalt concrete mixtures*, Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 42.



Fatigue testing of bituminous materials

From 1990 to 1994, three successive series of trials were carried out on the LCPC (transport research centre) fatigue test track in Nantes. Their goal was to:

- Better understand the relative behaviour of bituminous materials produced from bitumens of the same grade, but with different properties, leading to different fatigue performance.
- Optimise the design of high modulus asphalt (EME), and
- Identify a more relevant fatigue test than the one currently used (imposed deformation test, at 10°C and 25 Hz).

This vast testing programme makes it possible to validate the adjustment coefficient of high modulus asphalts, to confirm the improvement resulting from the addition of polymers of the styrene-butadiene-styrene (SBS) type in the fatigue performance of a bituminous materials, and to assess the benefit that could be offered by imposed-stress fatigue tests with rest times in the analysis of the fatigue behaviour of thick bituminous pavements.

AUTEURS

Absamad El Abd
Responsable chaussées –
viabilité hivernale
Autoroutes Paris-Rhin-Rhône
(APRR)

Pierre Hornych
Responsable
Laboratoire auscultation,
modélisation, expérimentation
des infrastructures de transports
Institut français des sciences
et techniques des transports,
de l'aménagement et des réseaux
(IFSTTAR)



Orniéragé d'une structure souple sur le manège de fatigue
Rutting of a flexible structure on fatigue test track

Expérimentation en vraie grandeur sur l'orniéragé des chaussées à faible trafic



Cet article présente une expérience menée sur le manège de fatigue en 2002-2003 ; elle visait à étudier les mécanismes de dégradation, et en particulier l'orniéragé des chaussées à faible trafic, à assises en graves non traitées (GNT). L'expérience a été menée en liaison avec la thèse d'A. El Abd [1], dans l'objectif de développer un modèle mécanique de prévision de l'orniéragé des GNT, basé sur leur caractérisation au triaxial. Une méthode opérationnelle de calcul de l'orniéragé, utilisant le logiciel de calcul par éléments finis CÉSAR-LCPC, a été développée dans la thèse et les modélisations ont été comparées avec les résultats de l'expérience. Des prévisions encourageantes de l'orniéragé ont ainsi été obtenues ; cependant, la modélisation de l'orniéragé des chaussées reste un challenge, en raison du très grand nombre de chargements à prendre en compte (plusieurs millions), et de la nécessité de bien reproduire l'histoire du chargement de la chaussée tout au long de sa durée de vie (variation des charges subies, mais aussi des températures et des conditions hydriques dans les matériaux non liés).

Introduction

Le manège de fatigue possède un anneau d'essai, l'anneau C, plus spécialement utilisé pour tester des structures de chaussée souples. Cet anneau est équipé d'un cuvelage étanche et d'un système de pompage, permettant d'ajuster le niveau de nappe dans le sol support, et ainsi de faire varier la portance du sol support.

Une expérience a été réalisée sur cet anneau en 2002-2003, sur des chaussées à faible trafic, à assises en GNT. Les objectifs étaient d'évaluer les méthodes de dimensionnement, en particulier de prévision de l'orniéragé de ces chaussées. Cette expérience a été menée en liaison avec un programme de recherche sur le comportement mécanique des GNT, dans le cadre, en particulier, de la thèse de A. El Abd [1].

Description de l'essai

Structures de chaussée testées

Après une phase d'étude en laboratoire des matériaux (sol support et GNT), la construction et l'instrumentation des structures du manège ont eu lieu en octobre-novembre 2002, et les chargements ont été réalisés entre mai et

septembre 2003. Cinq structures de chaussée ont été testées (tableau 1) : 4 structures à faible trafic, avec une couche de roulement bitumineuse peu épaisse (50 mm ou 80 mm), reposant sur une assise en GNT, et une structure bitumineuse plus épaisse, avec une couche de base en grave-bitume (GB).

Cet article présente uniquement les résultats obtenus sur les structures 1 à 4, à assises en GNT.

Structure 1 L : 22,5 m	Structure 2 L : 22,5 m	Structure 3 L : 22,5 m	Structure 4 L : 22,5 m
BBS2 50 mm	BBS2 50 mm	BBS3 80 mm	BBS3 80 mm
GRH 200 mm	GRH 200 mm	GRH 200 mm	GRH 200 mm
	GRH 150 mm	GRH 200 mm	GRH 300 mm
Sol support : sable argileux, épaisseur ≈ 2,4 m			

BBS2 : béton bitumineux pour chaussée souple à faible trafic de classe 2 ; BBS3 : béton bitumineux pour chaussée souple à faible trafic de classe 3 ; BBSG : béton bitumineux semi-grenu ; GRH : grave reconstituée humidifiée (GNT B 0/20 mm)

Tableau 1
Caractéristiques des structures testées
Properties of tested structures

Des calculs de dimensionnement, selon la méthode française, avaient été faits afin d'estimer les durées de vie théoriques pour chacune des structures de chaussée considérées, en appliquant le critère d'orniérage. Le dimensionnement a été réalisé avec l'essieu standard de 130 kN et un module de sol de 100 MPa. Le tableau 2 résume les durées de vie calculées.

NE1 durée de vie en millions d'essieux standards de 130 kN (module du sol : 100 MPa)

Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
NE1 = 0,14	NE1 = 0,38	NE1 = 1,50	NE1 = 5,00

Tableau 2
Durées de vie estimées pour chaque structure selon le critère d'orniérage
Estimated service life for each structure according to rutting criteria

Matériaux de chaussées

Le sol utilisé dans l'expérience, identique pour l'ensemble des structures, est un sable argileux 0/4 mm de classe B2 provenant de la carrière de Missillac (44). Sa portance, mesurée lors de la construction, était de 100 à 110 MPa. La GNT de la couche de base, identique sur toutes les structures, provenait de la carrière des Maraîchères (44). Elle avait été caractérisée au moyen d'essais triaxiaux [1]. C'est une GNT 0/20 mm issue d'un gneiss, conforme à la norme NF EN 13285 [2]. Ses principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 3.

Valeur de bleu de Méthylène	0,79
Teneur en eau de référence (Proctor Modifié)	6,35 %
Masse volumique de référence	2 170 kg/m ³
Valeur Los Angeles	16
Valeur Micro-Deval	10
Teneur en eau <i>in situ</i> à long terme	4 à 5 %

Tableau 3
Caractéristiques de la GNT des Maraîchères
Properties of roadbase materials from Maraîchères quarry

Les matériaux bitumineux étaient des bétons bitumineux souples (BBS) pour chaussées à faible trafic. Sur les structures 1 et 2, il s'agissait d'un BBS2 0/10 mm, contenant 6,2 % de liant 50/70. Sur les structures 3 et 4, il s'agissait d'un BBS3 0/14 mm contenant 5,8 % de liant 50/70. Les matériaux ont été caractérisés par des essais de module complexe, fatigue et orniérage. Leurs modules à 15 °C et 10 Hz étaient respectivement de 9 110 MPa et 10 400 MPa.

Programme expérimental

L'expérience a consisté à appliquer environ 2 millions de chargements dans les conditions suivantes :

- Les charges appliquées étaient des demi-essieux à roues jumelées chargés à

65 kN, et la vitesse était de 72 km/h.

- Un balayage latéral des charges a été appliqué (11 positions latérales).
- Durant toute l'expérience, le niveau de la nappe a été maintenu à - 2,60 m par rapport à la surface. Dans ces conditions, le module du sol support est proche de 100 MPa.

Instrumentation des structures de chaussée

L'instrumentation des structures comprenait :

- des capteurs de mesure des déformations longitudinales et transversales dans les enrobés et de déformations verticales dans les matériaux non liés (barreaux à jauges) ;
- des sondes de température, placées à 3 profondeurs différentes (dans la structure 1) ;
- des sondes de teneur en eau utilisant la méthode TDR (réflectométrie dans le domaine temporel), pour la mesure des variations de teneur en eau dans la GNT et le sol ;
- 2 capteurs de déplacement ancrés à 3 mètres de profondeur pour suivre le déplacement vertical total (déflexion) au passage des charges, placés dans les structures 1 et 4.

Comportement des structures testées

Tout au long de l'expérience, un suivi de la température ambiante (air), des températures dans les couches bitumineuses, de la pluviométrie et des teneurs en eau dans les couches de GNT et dans le sol a été réalisé (mesures par intervalles de 15 minutes).

Durant la période d'essai (mai à octobre 2003), les températures dans les couches bitumineuses étaient généralement comprises entre 15 °C et 30 °C, avec quelques valeurs dépassant 30 °C. La pluviométrie était faible, conduisant à des teneurs en eau peu variables dans le sol (6 % à 8 % selon la profondeur) et dans la GNT (4 à 5 %).

Les structures de chaussées ont été suivies au cours de l'expérience au moyen de mesures de déflexion (à la poutre Benkelmann), de profondeur d'ornièrisme et de relevés de fissuration. Les déflexions n'ont pas présenté d'évolution importante (en dehors de fluctuations dues à la température). A 20 °C, elles étaient comprises en 65/100^e mm et 75/100^e mm. La figure 1 montre l'évolution de l'orniérisme moyen des 4 structures.

Pour toutes les structures, la forme des courbes d'évolution de l'orniérisme est similaire : on note un développement rapide de l'orniérisme en début d'expérience (entre 0 et 3 000 passages, ce qui correspond à un post-compactage), puis une évolution plus lente, et une nette stabilisation au-delà de 1,5 million de chargements. Logiquement, l'orniérisme diminue lorsque l'épaisseur de la structure augmente. L'orniérisme le plus important est obtenu sur la structure 1 (24,6 mm en moyenne à la fin de l'expérience) et le plus faible sur la structure 4 (16 mm en fin d'expérience). Dans le travail de modélisation des déformations permanentes, le post compactage observé au cours des 3 000 premiers cycles, lié aux conditions de construction de la chaussée, n'a pas été pris en compte ; seules les déformations obtenues au-delà de 3 000 cycles ont été modélisées.

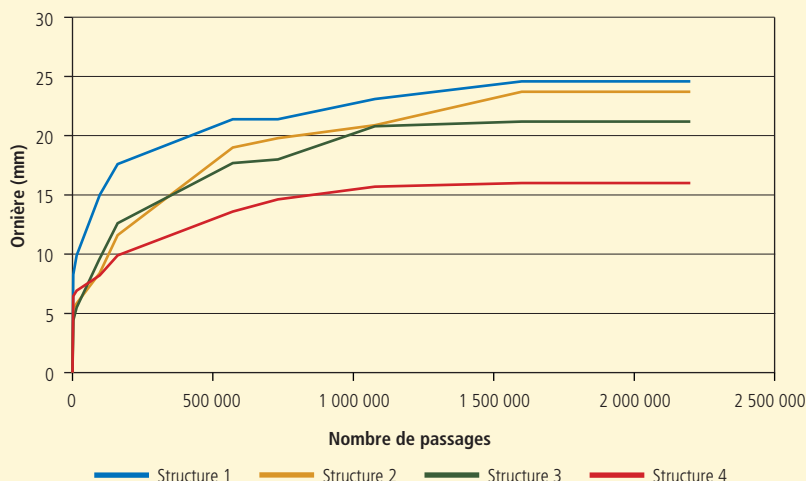


Figure 1
Evolution de la profondeur d'ornièrisme moyenne des 4 structures testées
Evolution of average rut depth of 4 structures tested

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

La figure 2 décrit l'évolution de la fissuration des structures. Les structures 1 et 2 ont présenté un comportement similaire : les premières fissures sont apparues après 300 000 passages et, à la fin de l'expérience, la quasi-totalité de la surface était fissurée. Cependant, les fissures sont restées fines, probablement en raison de l'utilisation d'un enrobé très souple, à fort dosage en bitume. Le comportement de la structure 3 était proche de celui des structures 1 et 2, malgré une épaisseur de BB majorée de 3 cm et une épaisseur de GNT également plus importante. La structure 4 a montré, de loin, les meilleures performances. En effet, les premières fissures ne sont apparues qu'après 600 000 passages et l'étendue de fissuration ne dépassait pas 30 % en fin d'expérience.

Les photos 1 à 4 montrent la fissuration de surface des 4 structures, après 1,1 million de chargements. Sur les photos, les fissures peintes en blanc sont apparues en premier. Concernant le comportement de ces chaussées, il faut souligner que les conditions climatiques favorables (essai mené entre mai et septembre, avec une faible pluviométrie) ont certainement eu un effet bénéfique sur les durées de vie des structures. En particulier, l'absence de pluie semble expliquer pourquoi aucune accélération de l'orniérage n'a été observée en fin d'expérience, lorsque les structures étaient fortement fissurées. En effet, lorsqu'une chaussée souple est fissurée, ce sont généralement les infiltrations d'eau qui conduisent à une accélération des dégradations (liée à la chute de portance et à l'orniérage des couches non liées), et à une ruine rapide de la structure.

Pour les 4 structures de chaussées, deux critères ont été définis pour estimer leur durée de vie sur le manège : un critère d'orniérage, correspondant à 20 mm de profondeur d'ornière moyenne, et un critère de fissuration, correspondant à 50 % de fissuration de la surface de la chaussée.

Le tableau 4 résume les durées de vie obtenues avec ces 2 critères, et les compare avec les durées de vie théoriques calculées avec la méthode de dimensionnement, en considérant une température expérimentale de 20 °C, correspondant aux conditions de l'expérience. Pour les structures 1 et 2, les plus minces (5 cm d'enrobé), c'est le critère d'orniérage qui détermine la durée de vie sur le manège. Pour les structures 3 et 4, plus épaisses, les deux critères orniérage et fissuration donnent des durées de vie similaires. Si l'on compare les durées de vie observées avec la

méthode de dimensionnement, on constate que :

- Pour les structures 1 et 2, le modèle de dimensionnement sous-estime les durées de vie observées.
- Pour la structure 3, le modèle conduit à une durée de vie proche de celle qui a été observée (légèrement plus élevée).

- Pour la structure 4, il est plus difficile de conclure, puisque l'expérience a été arrêtée à 2 millions de cycles, pour des questions de durée d'essai, avant d'atteindre la ruine de cette structure. Cependant, la longue durée de vie donnée par le modèle (4,7 millions de chargements) est en accord avec le bon comportement observé sur le manège.

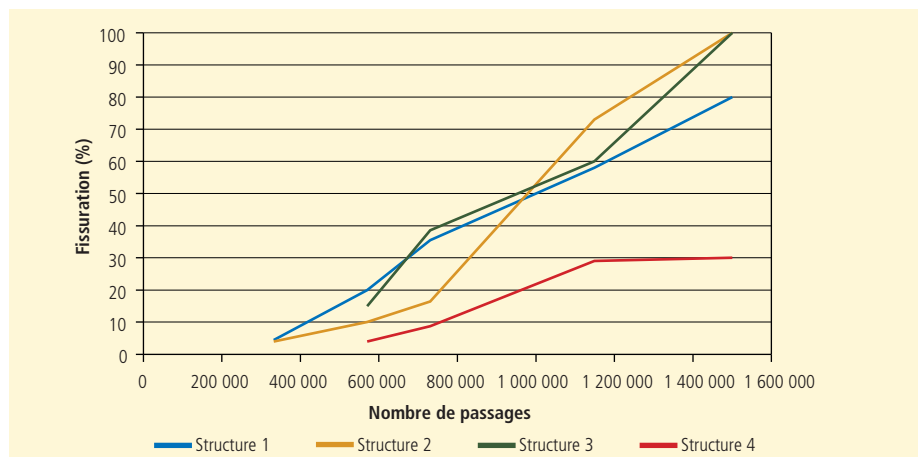


Figure 2
Evolution de l'étendue de la fissuration de surface des structures 1 à 4
Evolution of extent of surface cracking on structures 1 to 4



Photo 1
Fissuration de surface observée sur la structure 1
Surface cracking observed on structure 1



Photo 2
Fissuration de surface observée sur la structure 2
Surface cracking observed on structure 2



Photo 3
Fissuration de surface observée sur la structure 3
Surface cracking observed on structure 3



Photo 4
Fissuration de surface observée sur la structure 4
Surface cracking observed on structure 4

Structure	Durées de vie (millions de chargements)		
	Expérience Critère d'orniérage	Expérience Critère de fissuration	Calcul de dimensionnement
Structure 1	0,43	1,0	0,15
Structure 2	0,80	0,98	0,45
Structure 3	1,00	0,95	1,32
Structure 4	> 2,00	> 2,00	4,7

Tableau 4
Comparaison entre les durées de vie calculées des 4 structures, et celles observées sur le manège
Comparison between calculated service lives of 4 structures and those observed on test track

Modélisation de l'orniérage des structures

Démarche

L'un des objectifs principaux était d'améliorer les méthodes de prévision de l'orniérage des GNT et les critères d'orniérage utilisés pour le dimensionnement des chaussées. Les recherches menées à l'IFSTTAR sur l'orniérage des matériaux non traités et notamment les thèses [3 et 1] ont servi de base. Ces travaux avaient permis de développer :

- une méthode de caractérisation des performances mécaniques des GNT au moyen d'essais triaxiaux à chargements répétés [4] ;
- des modèles pour décrire les déformations permanentes des GNT sous chargements cycliques ;
- une méthode de calcul de l'orniérage des couches de chaussées en matériaux non traités, basée sur un calcul par éléments finis avec le module ORNI de CÉSAR-LCPC, (dédié à la simulation de l'orniérage) développé initialement par Heck [5].

Modélisation des déformations permanentes des GNT

La photo 5 montre la cellule triaxiale utilisée pour étudier le comportement cyclique des GNT. Celle-ci est conçue pour des éprouvettes de diamètre 160 mm et de hauteur 320 mm, et utilise un système de chargement permettant de cycliser la force axiale et la pression dans la cellule, à une fréquence maximale de 2 Hz.



Photo 5
Cellule triaxiale pour l'étude des GNT
Triaxial cell for study of untreated roadbase materials

Ainsi, les chargements cycliques reproduisent de façon réaliste les chargements routiers. L'éprouvette est instrumentée au moyen de capteurs de mesure des déformations axiales et radiales (figure 3).

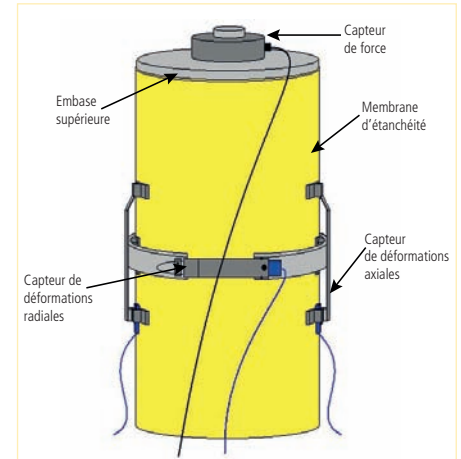


Figure 3
Schéma de l'instrumentation de l'éprouvette
Specimen instrumentation diagram

Le module ORNI de CÉSAR-LCPC pour le calcul de l'orniérage

La méthode de calcul de l'orniérage des couches de chaussées en GNT, développée par l'IFSTTAR repose sur trois hypothèses :

- Le comportement des GNT est supposé élasto-plastique.
- L'incrément de déformation plastique à chaque cycle est supposé très petit devant la déformation élastique.
- On suppose que le comportement élastique ne varie pas avec le nombre de cycles, et n'est pas affecté par l'évolution des déformations permanentes.

En suivant de telles hypothèses, il est possible de découpler le calcul du comportement élastique de la structure, et le calcul des déformations permanentes. Le calcul de l'orniérage s'effectue alors comme suit (tableau 5) :

- La **première étape** consiste à définir les différentes conditions de chargement auxquelles la chaussée sera soumise (types de charges, températures, vitesses). Pour chaque condition de chargement, un calcul aux éléments finis 3D est réalisé pour déterminer les champs de contraintes dans la structure. Ces calculs sont réalisés avec le module CVCR (chaussée visco-élastique sous charge roulante) de CÉSAR-LCPC [5], qui permet de prendre en compte différents modèles de comportement : élasticité linéaire et non-linéaire, visco-élasticité pour les enrobés bitumineux.
- La **deuxième étape** consiste à évaluer les déformations permanentes cumulées au cours de la vie de la chaussée, en réponse aux champs de contraintes déterminés précédemment et arrivant dans l'ordre chronologique d'apparition dans la chaussée ; ces déformations sont calculées localement en chaque point de la structure, avec l'un des deux modèles de déformations permanentes (modèle simplifié ou modèle élasto-plastique). Ce calcul est réalisé par éléments finis en 2D, dans le plan perpendiculaire à l'axe de la chaussée (plan 0,y,z). En effet, les propriétés de la chaussée et le chargement étant invariants suivant l'axe x de la chaussée, il suffit de calculer l'orniérage dans le plan (0,y,z).
- La **troisième étape** a pour but de déterminer, à partir des déformations permanentes calculées localement, les déformations totales de la structure (cinématiquement admissibles) et les déplacements correspondants.

La modélisation de l'orniérage fait donc appel, dans un premier temps, à plusieurs calculs élastiques (ou viscoélastiques) avec le module CVCR de CÉSAR-LCPC. Ensuite, les étapes 2 et 3 utilisent le module ORNI de CÉSAR LCPC [5, 1].

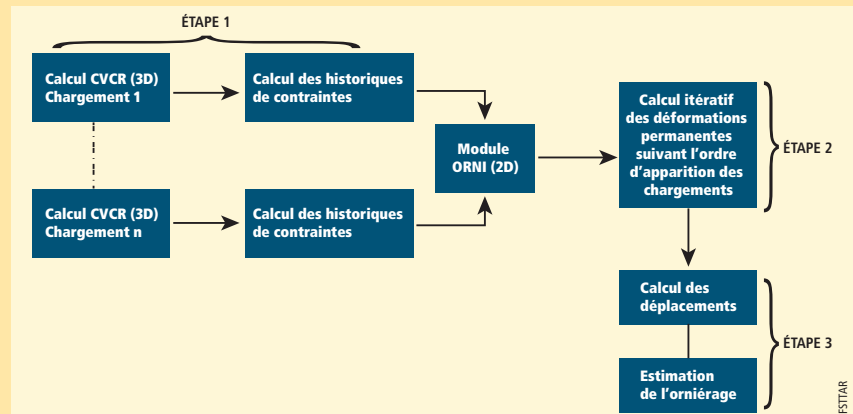


Tableau 5
Schéma de principe de la méthode de calcul de l'orniérage des matériaux non traités
Schematic diagram of rutting calculation method for untreated materials

L'essai proposé par Gidel *et al.* [4] pour étudier les déformations permanentes des GNT est une procédure de chargements cycliques par paliers. Celle-ci consiste à appliquer à chaque éprouvette plusieurs chargements cycliques successifs, avec des niveaux de contraintes croissants, suivant un même chemin de contraintes.

A partir des essais triaxiaux, El Abd [1] a testé plusieurs modèles de prédiction des déformations permanentes des GNT, et en a retenu deux :

- Un modèle simplifié, qui décrit l'évolution des déformations permanentes axiales ε_1^p en fonction du nombre de cycles N [3]. Son expression est :

$$\varepsilon_1^p = f(N) \cdot \varepsilon_1^{p_0} \cdot \left(\frac{L_{\max}}{p_a} \right)^n \cdot \frac{1}{\left(m + \frac{s}{p_{\max}} - \frac{q_{\max}}{p_{\max}} \right)}$$

avec :

- $\varepsilon_1^{p_0}$, m , n et s paramètres du modèle,
- p_a constante égale à 100 kPa,
- p_{\max} valeur maximale de la contrainte moyenne $p = (s_1 + 2s_3)/3$
- q_{\max} valeur maximale de la contrainte déviatorique $q = 2/3(s_1 - s_3)$

$$L_{\max} = \sqrt{p_{\max}^2 + q_{\max}^2}$$

$$f(N) = A \cdot (1 - N)^{-B}$$

fonction du nombre de cycles N , à 2 paramètres A et B

- Un modèle élastoplastique cyclique [6], avec écrouissage cinématique et isotrope, conçu pour simuler des chargements à grand nombre de cycles (10^5 à 10^6). Il est basé sur les travaux [7], utilisés en mécanique des sols. Il permet de calculer la réponse du matériau à toute sollicitation monotone ou cyclique. Pour des raisons de place, cette approche n'est pas décrite ici en détail, mais on peut se reporter à [6].

Les 2 modèles, simplifié et élastoplastique, ont été calés sur des essais triaxiaux cycliques sur la GNT des Maraichères, testée sur le manège. Ces essais ont été réalisés à 2 teneurs en eau (4 % et 5 %), proches des teneurs en eau *in situ*. La figure 4 montre le calage obtenu avec le modèle simplifié, sur 3 essais triaxiaux par paliers, réalisés à la teneur en eau de 5 %, avec des chemins de contraintes différents. Pour chaque niveau de contraintes, les déformations permanentes augmentent rapidement au cours des premiers cycles puis se stabilisent progressivement. Le modèle reproduit bien cette évolution.

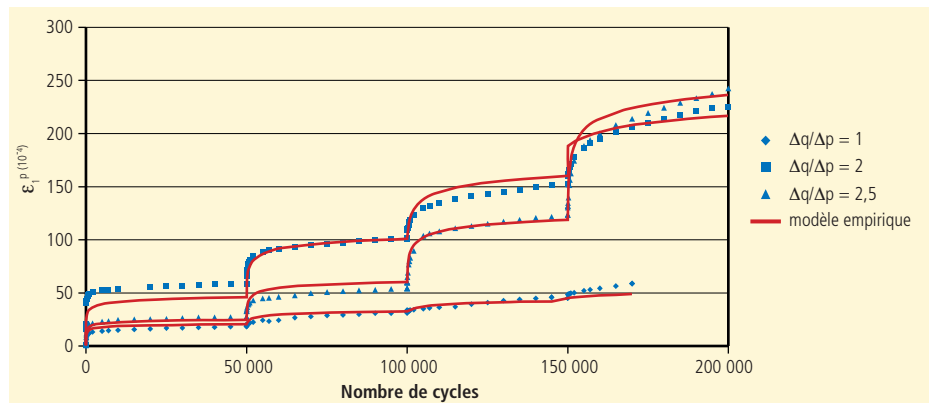


Figure 4
Ajustement du modèle empirique de déformations permanentes sur les essais cycliques sur la GNT des Maraichères (teneur en eau $w = 5\%$)
Adjustment of empirical model of permanent deformations on cyclic tests of untreated materials from Maraichères quarry (water content $w = 5\%$)

Simulation de l'orniérage des structures testées

La méthode de calcul de l'orniérage a été appliquée aux chaussées testées sur le manège. A cet effet, des essais triaxiaux cycliques ont été réalisés sur la GNT, à deux teneurs en eau différentes (4 % et 5 %) afin de caler les modèles de déformations permanentes. Le comportement de l'enrobé et du sol ont été considérés élastiques linéaires. Le module de l'enrobé a été déterminé à partir d'essais de module complexe en laboratoire, et celui du sol a partir de mesures à la dynaplaque.

Les calculs d'orniérage ont été effectués pour les 4 structures, en considérant :

- 2 millions de chargement, avec un demi-essieu à roues jumelées chargé à 65 kN, une vitesse de 72 km/h, et un balayage latéral des charges (11 positions) ;
- Des températures variables, correspondant à celles mesurées sur site. Pour cela, 8 intervalles de températures ont été considérés : [7 à 10 °C], [10 à 15 °C], [15 à 20 °C], [20 à 25 °C], [25 à 30 °C], [30 à 35 °C], [35 à 40 °C] et [40 à 45 °C]. Pour chaque intervalle, le calcul ORNI a été réalisé avec le nombre de chargements appliqué à ces températures, et à la valeur de température correspondant au milieu de l'intervalle (par exemple 12,5 °C pour l'intervalle [10 à 15 °C]).

A titre d'exemple, on présente ici les résultats des calculs ORNI réalisés pour la structure 4. La figure 5 montre le maillage 2D utilisé, qui comporte 120×15 éléments.

Dans un premier temps, les calculs d'orniérage ont été réalisés en considérant uniquement les déformations permanentes de la GNT, et pour deux cas de teneurs en eau de la GNT, 4 % et 5 %, correspondant à la plage de teneur en eau *in situ*.

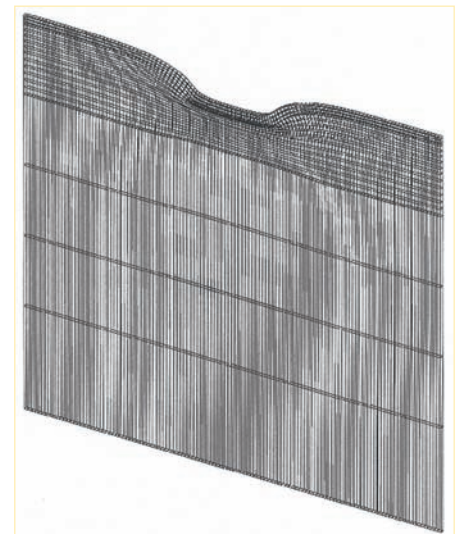


Figure 5
Maillage utilisé dans les calculs ORNI pour la structure
Grid used in ORNI calculations for structure

Les comparaisons entre l'orniérage mesuré et la modélisation sont présentées sur la figure 6. Ces premières simulations conduisent à des niveaux d'ornièrisme nettement inférieurs aux profondeurs mesurées sur site (environ 4 mm après deux millions de passages, contre une valeur moyenne sur site de 9,5 mm). L'influence de la teneur en eau de la GNT est faible, avec une augmentation de l'ornièrisme d'environ 0,5 mm lorsque la teneur en eau passe de 4 % à 5 %.

Suite à ces premiers résultats, des calculs complémentaires ont été réalisés en considérant des plages de température de 2 °C, et en modifiant l'ordre d'application des températures. Cela n'a pas sensiblement modifié les résultats. Pour essayer de se rapprocher du comportement réel de la structure, il a donc été décidé d'essayer de modéliser également l'orniérage du sol.

A cet effet, des essais triaxiaux de déformations permanentes ont été réalisés sur le sol du manège (sable de Missillac), à une teneur en eau de 8 %, proche de la teneur en eau *in situ*. Les essais ont alors montré que ce sable, contenant environ 6 % de fines, présentait un comportement qualitativement très similaire à celui de la GNT (avec toutefois une plus grande déformabilité). Le comportement du sable a donc été décrit par le même modèle empirique de déformations permanentes que celui de la GNT.

La figure 7 présente les résultats du calcul réalisé en prenant en compte les déformations permanentes de la GNT et du sol. On voit que la contribution du sol à l'orniérage est importante (environ 46 % de l'orniérage total). Ces résultats sont encourageants, puisque la profondeur d'ornière finale, après deux millions de passages, est proche de l'ornière minimale mesurée sur site (7,4 mm contre environ 8 mm). Cependant, le modèle ne reproduit pas bien la cinétique d'évolution de l'orniérage ; avec le modèle, les déformations permanentes augmentent très rapidement lors des premiers chargements, et se stabilisent beaucoup plus vite que dans l'expérience (après seulement 200 000 chargements environ).

La difficulté à reproduire la cinétique d'évolution de l'orniérage vient sans doute des essais triaxiaux utilisés pour le calage des modèles. En effet, les courbes d'évolution de l'orniérage obtenues avec ORNI sont, logiquement, très proches de celles obtenues dans les essais de laboratoire (figure 4). Or, dans les essais, les directions des contraintes principales sont fixes, et l'amplitude des cycles de chargement est constante pendant chaque palier. Sur chaussée, au contraire, les charges roulantes produisent des rotations de contraintes, et les amplitudes des cycles sont variables, en raison du balayage latéral des charges et des changements de température. Il est donc possible que les chargements réels, (avec rotations de contraintes et amplitude variable), conduisent à une augmentation plus progressive de l'orniérage que les essais triaxiaux.

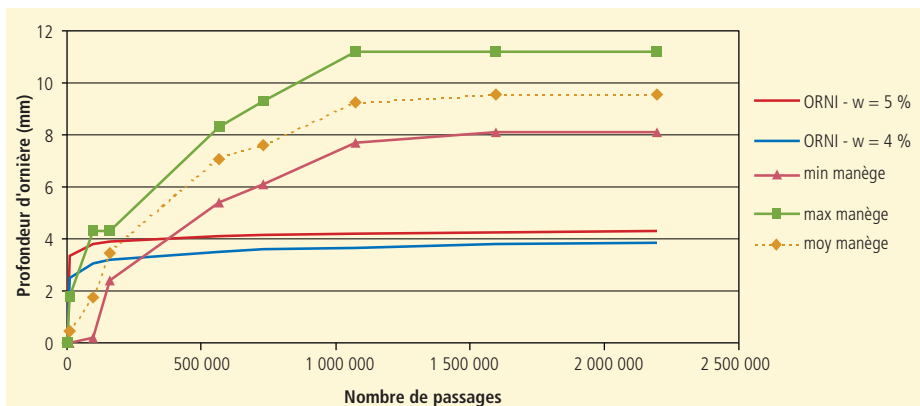


Figure 6
Structure 4 - Comparaison entre les profondeurs d'ornières calculées avec ORNI pour 2 teneurs en eau de la GNT (4 % et 5 %) et les valeurs expérimentales
Structure 4 - Comparison between rut depths calculated with ORNI for 2 water contents of untreated roadbase material GNT (4% and 5%) and test values

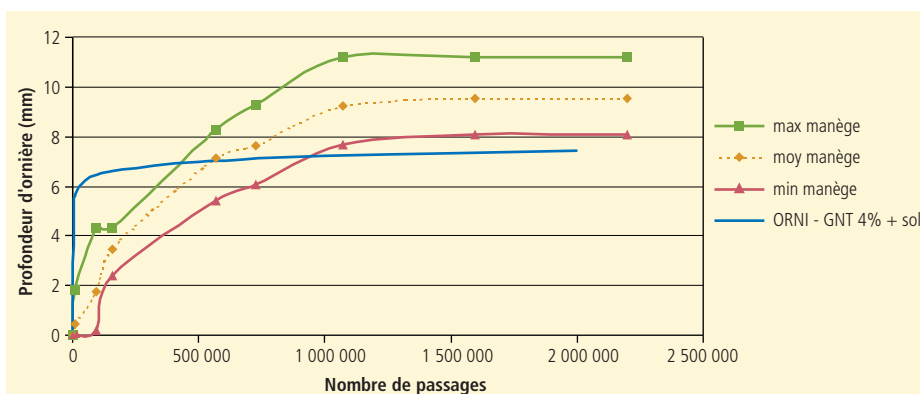


Figure 7
Structure 4 - Résultats du calcul ORNI avec prise en compte des déformations permanentes du sol support de chaussée
Structure 4 - ORNI calculation results taking into account permanent deformations of pavement subgrade

Conclusions

Cette étude sur les chaussées à faible trafic à assises en GNT a permis à la fois de tester la méthode de dimensionnement des chaussées à faible trafic, basée sur un critère d'orniérage simplifié, et de valider, pour la première fois, un modèle plus élaboré de calcul de l'orniérage, basé sur une caractérisation des matériaux au moyen d'essais triaxiaux.

Les quatre structures de chaussées testées (avec des couches de roulement bitumineuses de 50 mm ou 80 mm d'épaisseur) ont été dimensionnées pour des durées de vie différentes, allant de 0,14 million à 5 millions d'essieux équivalents. Les essais réalisés ont confirmé que le principal mécanisme de dégradation de ces structures était bien l'orniérage, conformément à la méthode de dimensionnement.

Les durées de vie observées sur le manège étaient, soit un peu supérieures à celles prévues par le dimensionnement (pour les structures 1 et 2, les plus minces), soit proches de la valeur de dimensionnement (structure 3). La méthode de dimensionnement actuelle apparaît donc correctement calée, sous réserve de prendre en compte les valeurs de paramètres mécaniques des matériaux représentatives des valeurs *in situ*. Ce constat s'applique aux conditions climatiques de l'expérience, qui étaient assez favorables (températures généralement comprises entre 15 °C et 30 °C, faible pluviométrie, module de sol d'environ 100 MPa).

Les simulations réalisées avec le module ORNI ont permis de valider le logiciel et ont clairement montré la nécessité de :

- Modéliser à la fois les déformations permanentes de la GNT et du sol support.
- Bien prendre en compte les variations de teneur en eau du sol et de la GNT, et également les variations de température, qui modifient la rigidité de l'enrobé, et ont ainsi une forte influence sur les contraintes transmises aux couches non liées.

Avec la prise en compte des déformations permanentes du sol, l'orniérage final obtenu sur manège a pu être correctement estimé. Par contre, on a constaté que le modèle ne décrivait pas très bien la cinétique d'évolution de l'orniérage, et conduisait à une stabilisation plus rapide de l'orniérage que l'expérience. Ces résultats restent encourageants, compte tenu de la difficulté de modéliser de façon précise le cumul des déformations sur toute la durée de vie de la chaussée, en prenant en compte son histoire de chargement, et les variations de température et de teneur en eau.

Le module ORNI constitue aujourd'hui un outil performant pour modéliser l'orniérage des couches de chaussées en matériaux non traités, pour des applications de recherche ou d'expertise.

Des travaux sont en cours pour proposer, à partir des mêmes modèles de déformations permanentes des GNT, une méthode de calcul plus simplifiée (1D). Une validation plus complète d'ORNI, sur d'autres cas de matériaux et de structures, serait également nécessaire. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] El Abd A., *Développement d'une méthode de prédiction des déformations de surface des chaussées à assises non traitées*, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, décembre 2006, 249 p.
- [2] Norme NF EN 13285, *Graves non traitées – Spécifications* (mai 2004)
- [3] Gidel, G. (2001) *Comportement et valorisation des graves non traitées calcaires utilisées pour les assises de chaussées souples*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, France
- [4] Gidel G., Hornych P., Chauvin J.-J., Breysse D., Denis A. (2001), *Nouvelle approche pour l'étude des déformations permanentes des graves non traitées à l'appareil triaxial à chargements répétés*, Bulletin des LPC n° 233, pp 5-21
- [5] Heck J.-V. (2001), *Modélisation des déformations réversibles et permanentes des enrobés bitumineux. Application à l'orniérage des chaussées*, Thèse de Doctorat, Université Nantes, France
- [6] Chazallon C. (2000), *An elastoplastic model with kinematic hardening for unbound aggregates in roads*, UNBAR 5 Conference, Nottingham, 21-23 June, pp 265 – 270
- [7] Hujéux J.-C. (1985), *Une loi de comportement pour le chargement cyclique des sols*, Génie parasismique, Presse des Ponts et Chaussées, Paris, pp 316-331



Full-scale testing of rutting on light-volume pavements

This article covers tests conducted on the fatigue test track in 2002-2003. The aim was to study deterioration mechanisms and in particular the rutting of light-traffic pavements using untreated roadbase materials (GNT). The tests were carried out in connection with the thesis of A. El Abd [1] with a view to developing a mechanical model for rutting-prediction in untreated roadbase materials based on their triaxial test characterisation. An operational rutting calculation method using CÉSAR-LCPC finite-element design software was developed upon in the thesis and the models were compared with the test results. Encouraging rutting predictions were thus obtained, but the modelling of pavement rutting remains a challenge owing to the very large number of loads to be taken into account (several million) and the need to carefully reproduce the pavement's loading history throughout its service life (variation of loads withstood but also temperatures and moisture conditions in untreated materials).

AUTEURS

Denys Breyse
Professeur des Universités
Responsable du Département
Génie civil et environnemental
Institut de mécanique et d'Ingénierie (I2M)
Université Bordeaux 1, UMR CNRS 5295

Farah Homsy
Maître de conférences
Beirut Arab University (Liban)
Faculty of engineering

Sylvie Yotte
Professeur
Université de Limoges
Groupe d'études des matériaux hétérogènes (GEMH)
IUT Egletons

Jean-Maurice Balay
Chercheur
IFSTTAR

Didier Bodin
Chercheur
Australian Road Research
Board (ARRB) Group Ltd. (Australie)



Poids lourd à essieux tridem
Tridem-axle lorry

Utilisation du manège dans la construction d'un modèle de fatigue des chaussées sous chargement multi-essieux



Cet article illustre comment est abordé un problème complexe, celui de la fatigue des chaussées sous chargement multi-essieux, en combinant plusieurs voies d'approches expérimentales et numériques : l'expérience en vraie grandeur sur le manège de fatigue, une campagne expérimentale de laboratoire sur éprouvettes normalisées et des simulations numériques par éléments finis. La conjugaison de ces moyens vise à mieux comprendre les facteurs influents, quantifier leurs effets et les reproduire dans différentes configurations d'utilisation. Elle permet de lever les multiples difficultés que l'on rencontre sur ce type de problème et de prédire la durée de service attendue des chaussées sous chargements complexes.

Comportement en fatigue des chaussées : échelles et moyens d'approche

La défaillance par fatigue des chaussées bitumineuses est l'une des sources principales de maintenance. Elle se traduit, entre autres, par une multi-fissuration de surface dont l'origine réside dans l'incapacité du matériau à supporter un nombre trop élevé de cycles de déformation. La répétition des actions induit des endommagements puis une fissuration du matériau, sous l'effet des déformations d'extension. Ces fissures se développent dans le matériau et sur les interfaces et se propagent jusqu'à atteindre la surface de la chaussée.

Le principe du dimensionnement en fatigue repose sur la limitation des déformations maximales d'extension à la base de la chaussée. Connaissant les

propriétés du matériau (loi de fatigue $N(\epsilon)$ exprimant le nombre de cycles d'intensité ϵ conduisant à la défaillance) et le nombre de cycles que subira la chaussée pendant une durée de service définie (qui dépend de l'intensité du trafic), on calcule l'épaisseur des couches à mettre en œuvre pour que la durée de vie dépasse la durée de fatigue [1]. Des ajustements permettent de tenir compte de la diversité des poids des véhicules, de la température de service, des incertitudes sur la mise en œuvre.

Les lois de fatigue, établies au laboratoire sur éprouvettes normalisées sont au centre de la démarche [2]. Il est en effet très difficile de mener des expériences en vraie grandeur sur chaussée réelle, en raison de la durée des expériences (plusieurs années) et de la non maîtrise des conditions expérimentales : chargement, température, ...

Les essais normalisés de laboratoire, s'ils permettent de maîtriser géométrie et conditions de chargement, se heurtent à d'autres difficultés :

- Le matériau est fortement hétérogène, ce qui impose de multiplier les essais (typiquement de 4 à 6 répétitions pour chaque configuration), et peut conduire à certains essais inexploitable.
- Les conditions imposées lors du chargement (typiquement une variation sinusoidale de la déformation longitudinale imposée) ne reproduisent qu'imparfaitement les conditions réelles : dans la chaussée, le matériau est soumis à des sollicitations en 3 dimensions, dont la dynamique temporelle dépend d'un ensemble de facteurs : vitesse du véhicule, forme de l'empreinte des pneus, épaisseur des couches, ...
- Accélérer les essais (typiquement solliciter à une fréquence plurihertzienne) est indispensable pour que la durée des

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

expériences demeure raisonnable, mais induit des phénomènes parasites. Ainsi, un échauffement peut être provoqué par la répétition des cycles, et la récupération entre chargements, possible dans la chaussée, ne l'est pas dans les essais [3].

Entre ces deux approches, celle de la chaussée réelle et celle de l'éprouvette normalisée, le manège de fatigue trouve une place de choix :

- Il reproduit la géométrie de la chaussée, et donc les mécanismes de dégradation tels qu'ils existent en vraie grandeur, sans privilégier a priori aucune section d'une éprouvette sollicitée artificiellement.
- Il permet une maîtrise quasi complète des conditions expérimentales : compacité de l'assise, mise en œuvre des couches, actions de trafic, température extérieure et dans la chaussée, ... Il réduit significativement la durée des essais, pour peu que les couches ne soient pas surdimensionnées.

Ses handicaps majeurs sont le coût des expériences, fortes consommatrices d'énergie, et l'incapacité à reproduire très précisément des phénomènes existants dans les chaussées réelles (récupération entre passage de véhicules, effets des variations climatiques à l'échelle saisonnière, effet du balayage réel, ...). La suite de l'article décrit les expériences du manège conçues et exploitées pour mieux appréhender le comportement en fatigue sous chargement multi-essieux.

Le manège, source de données expérimentales

Sous chaque passage d'un demi-essieu, le matériau placé à la base des couches bitumineuses subit un cycle de sollicitation pour revenir au repos après le passage de la charge.

Ce cycle se traduit par des déformations principales longitudinales (dans le sens de la voie) et transversales dont la majeure partie est en extension, mais qui ne sont ni synchronisées ni de même forme. Cette forme peut être complexe (figure 1) au passage d'un tridem, et s'éloigne notablement des sollicitations sinusoïdales normalisées.

Si l'on veut reproduire l'effet de ces chargements sur des éprouvettes de laboratoire, il faut donc en maîtriser les caractéristiques et le lien avec les conditions extérieures (type d'essieu, vitesse du véhicule, charge appliquée, ...).

La démarche a donc consisté, dans un premier temps, à utiliser le manège comme base expérimentale pour l'acquisition et l'analyse de ces signaux de déformations.

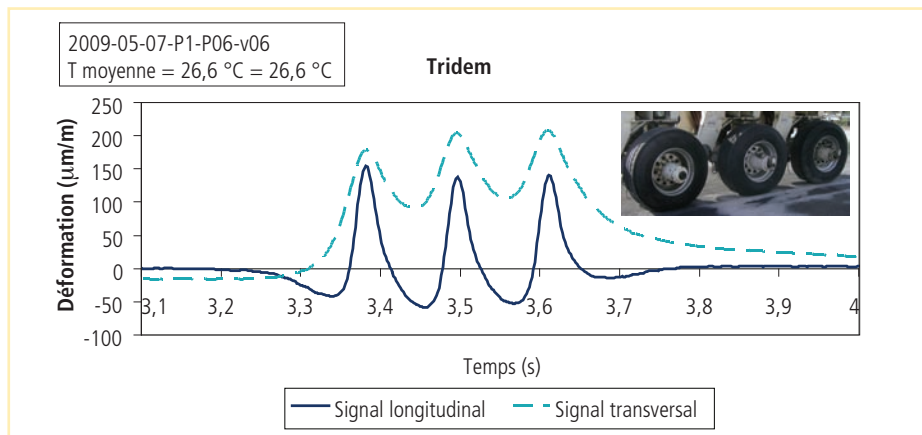


Figure 1
Déformations longitudinale et transversale au passage d'un essieu tridem
Longitudinal and transverse deformations upon passage of a tridem axle

Dans un second temps, on a développé une campagne expérimentale sur éprouvettes normalisées en employant des signaux synthétiques qui reproduisent les caractéristiques majeures des signaux réels. Après modélisation, les données recueillies sur le manège ont permis une comparaison/validation avec les résultats issus de la modélisation.

L'objet de l'étude est de comparer les effets de différentes configurations d'essieux à celle de l'essieu standard (roue unique, demi-essieu chargé à 65 kN) : tandem, tridem et roues jumelées. L'étude des effets de la forme des signaux [1, 4, 5] a montré que si la déformation maximale était un paramètre majeur (c'est le seul qui intervienne dans la loi de fatigue usuelle), d'autres facteurs semblent jouer, tels que la décroissance entre pics successifs, la durée du signal, l'aire cumulée sous la courbe, ...

- Construire des signaux synthétiques qui «repossèdent» les mêmes caractéristiques.
- Analyser et quantifier au laboratoire l'effet des paramètres en les faisant varier dans une plage comparable à celle du manège.

Deux structures de chaussées ont été testées simultanément sur le manège (figure 2) : une chaussée épaisse St1 (figure 2a), constituée de deux couches de 20 et 6 cm, et une chaussée plus mince St2 (figure 2b) faite de deux couches de 10 et 6 cm. Chacun des quatre bras du manège était équipé d'une configuration différente (roue simple, tandem, tridem, roues jumelées). On a fait varier la vitesse de 4 à 50 km/h, avec une charge à la roue de 42,5 kN. Pendant les essais, la température à la base de la couche d'enrobés a varié de 4 °C à 38 °C sous l'effet des variations extérieures naturelles.

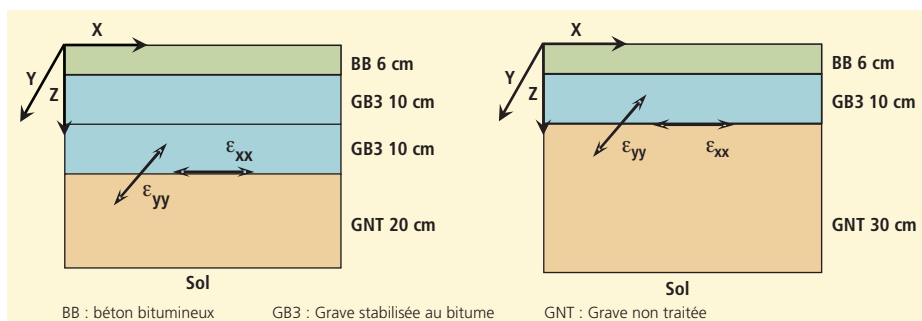


Figure 2a
Structure St1
St1 structure

Figure 2b
Structure St2
St2 structure

Sur la base d'un ensemble de signaux expérimentaux représentatifs, obtenus au manège pour les différentes configurations d'essieux et en faisant varier charge et vitesse, la méthode consiste à :

- Caractériser les signaux par un nombre restreint de paramètres clés, dont on identifie la plage de variation.

L'ensemble du programme a conduit à disposer de 1 700 signaux de chargement, dont seule une petite part a été exploitée dans ce travail (les données recueillies ont fait l'objet d'autres travaux, par exemple sur le rôle de la vitesse ou de la température sur les signaux de déformation).

L'analyse des signaux (non détaillée ici, et qui a reposé sur une analyse en composantes principales (ACP) pour définir des paramètres possédant la plus grande complémentarité) a conduit à retenir 4 paramètres indépendants caractérisant la forme de chaque signal [6] :

- la déformation maximale d'extension atteinte (ϵ_{\max}). Sur les signaux multipics, elle correspond à l'un des pics ;
- le nombre de pics (N_p), directement lié à la configuration de l'essieu ;
- la durée normalisée du signal (\bar{D}), définie comme la durée pendant laquelle le signal dépasse une certaine amplitude divisée par le nombre de pics ;
- le taux de remplissage (\hat{A}_n) défini comme l'aire sous la courbe A divisée par ce que serait l'aire d'un signal qui serait toujours au maximum, soit $A / (\bar{D} \cdot \epsilon_{\max})$.

Les figures 3a et 3b montrent que ces définitions sont pertinentes aussi bien pour les signaux longitudinaux que pour les signaux transversaux, même si ces deux types de signaux ont des allures sensiblement différentes. Les écarts majeurs se distinguent du fait que :

- le signal multipics longitudinal change de signe en début et fin de chargement, et (pour les entraxes entre roues et les épaisseurs de chaussées testées) entre les pics ;
- le signal transversal reste positif, et est fortement dissymétrique avec une décroissance lente du signal après le passage de l'essieu, qui résulte de la visco-élasticité de l'enrobé.

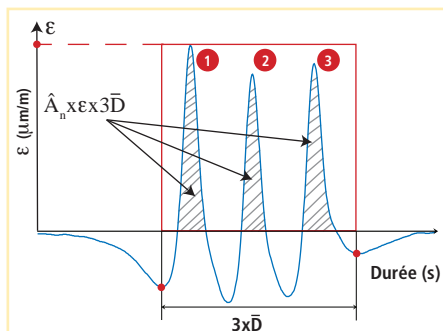


Figure 3a
Paramètres de forme, signal longitudinal
Form parameters, longitudinal signal

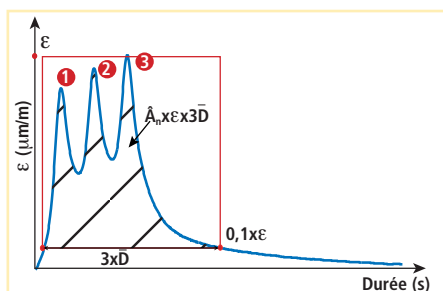


Figure 3b
Paramètres de forme, signal transversal
Form parameters, transverse signal

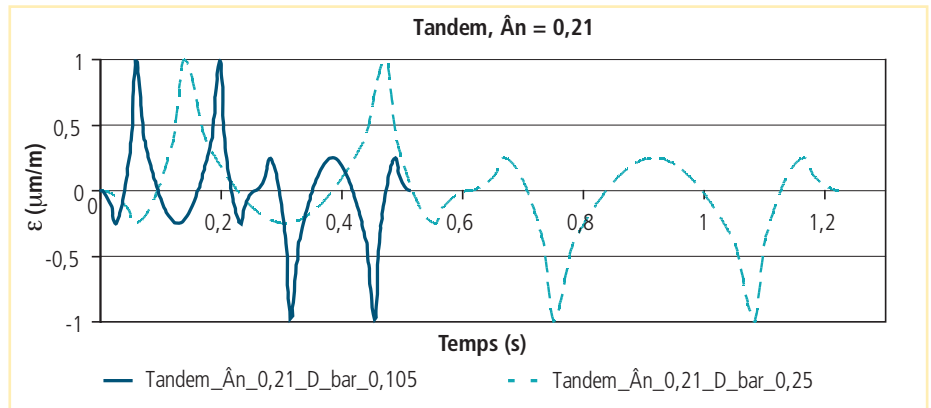


Figure 4a
Signaux synthétiques longitudinaux reproduisant un signal tandem (deux vitesses)
Synthetic longitudinal signals reproducing a tandem signal (two speeds)

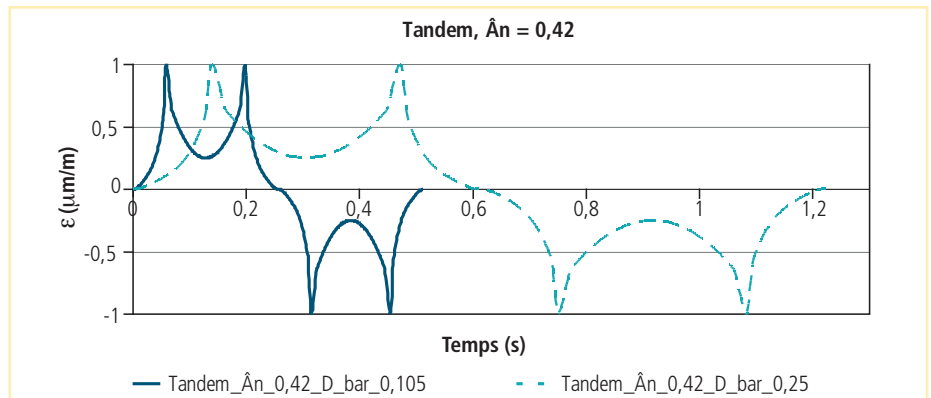


Figure 4b
Signaux synthétiques longitudinaux reproduisant un signal tandem (deux vitesses)
Synthetic longitudinal signals reproducing a tandem signal (two speeds)

Des signaux synthétiques sont reproduits aux figures 4a et 4b.

Le plan expérimental de laboratoire et l'établissement des lois

L'étape suivante a consisté à construire des signaux synthétiques aussi proches que possible des signaux expérimentaux. Ayant vérifié sur les données manège (via l'ACP) que les quatre paramètres de formes variaient de manière indépendante, on les a considérés comme tels lors de la conception du plan d'expériences, pour en étudier les effets séparés.

Les valeurs des 4 paramètres ont été étudiées de manière attentive à partir des données manège. Les variations de \bar{D} sont liées en premier lieu à la vitesse. L'analyse a conduit à retenir trois niveaux pour la déformation, deux pour \bar{D} (correspondant à des vitesses comprises entre 20 et 150 km/h selon l'épaisseur de la chaussée) et deux pour \hat{A}_n (0,21 et 0,42), qui correspondent aux valeurs médianes observées lors des expériences manège, respectivement pour

les signaux longitudinaux et transversaux. Le détail du plan d'expérience est fourni au tableau 1.

Le matériau des éprouvettes est un enrobé avec une grave 0/14 mm bien graduée de classe 3 et stabilisée avec 4,12 % de bitume 35/50. Son module complexe est d'environ 12 500 MPa à (20 °C – 25 Hz) et d'environ 18 500 MPa à (10 °C – 10 Hz). Plus de détails sur le protocole expérimental ont été publiés par ailleurs [7].

Les essais ont été conduits sur les machines de fatigue du Laboratoire régional de Bordeaux. Chacun d'eux a été répété trois fois pour faire face à la variabilité du matériau.

Après consolidation des résultats et élimination des quelques valeurs statistiquement aberrantes, on a pu identifier une loi de fatigue multiparamétrique, qui constitue une extension de l'expression usuelle :

$$\log(N_f) = a \log(\epsilon) + b \log(N_p) + c \hat{A}_n + d \bar{D} + \epsilon$$

Equation 1

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Signal	N_p	\hat{A}_n	\bar{D}	Période (s)	Fréquence (Hz)
1	1	0,21	0,105	0,28	3,57
2			0,25	0,67	1,50
3		0,42	0,105	0,28	3,57
4			0,25	0,67	1,50
5	2	0,21	0,105	0,51	1,95
6			0,25	1,22	0,82
7		0,42	0,105	0,51	1,95
8			0,25	1,22	0,82
9	3	0,21	0,105	0,76	1,32
10			0,25	1,80	0,56
11		0,42	0,105	0,76	1,32
12			0,25	1,80	0,56

Tableau 1
Valeurs des paramètres de forme dans le plan d'expérience
Values of form parameters in test plan

	a	b	c	d	e
Valeur	- 4,58	- 0,84	1,31	1,76	15,22
Ecart-type	0,16	0,11	0,20	0,29	0,40
Signification statistique	- 28,15	- 7,70	6,49	6,05	38,33

Tableau 2
Coefficients du modèle de fatigue multiparamétrique
Coefficients of multiparameter fatigue model

Les valeurs des coefficients multiplicateurs et de leur écart-type d'estimation sont fournies au tableau 2. Le coefficient de corrélation R entre valeurs expérimentales et valeurs estimées par le modèle est égal à 0,90. Les signes de ces coefficients indiquent l'effet individuel de chaque paramètre de forme. Ainsi : la durée de vie est d'autant plus faible que la déformation est forte ($a < 0$), que le nombre de pics croît ($b < 0$), que la vitesse est faible ($d > 0$). Toutes choses égales par ailleurs, les signaux transversaux sont moins agressifs que les signaux longitudinaux.

Ces conclusions doivent être cependant tempérées : les valeurs des paramètres de forme dépendent des variables de l'expérience (intensité de la charge, vitesse du véhicule, épaisseur de chaussée, raideur des matériaux, ...) d'une manière très complexe, qui n'a pas été modélisée. De fait, les valeurs des quatre paramètres peuvent changer simultanément, et étudier l'effet séparé de chacun d'eux n'a guère de sens. Le choix a été fait de retenir ces paramètres comme variables d'entrée de la loi de comportement en fatigue, à charge ensuite de faire le lien avec les paramètres décrivant de manière plus macroscopique les actions de trafic et la chaussée.

Les apports complémentaires de la simulation numérique

S'il n'est pas possible d'utiliser les données du manège pour valider directement le modèle de fatigue établi (ce n'était pas le but des expériences manège), plusieurs exploitations sont possibles.

On peut d'abord comparer la forme des signaux modèles à celle des mesures manège, pour détecter leurs imperfections. Ainsi, plusieurs différences ont été notées. Les signaux modèles :

- Ne reproduisent pas exactement l'espacement entre les pics, lié à l'empattement du tandem, qu'il faudrait ajuster (figure 5).
- Ont tous des pics d'égale amplitude, contrairement aux signaux réels.
- La durée au voisinage immédiat du pic est sous-estimée (figure 6).
- Les mesures montrent systématiquement une certaine dissymétrie entre charge et décharge, du fait de la visco-élasticité de l'enrobé.

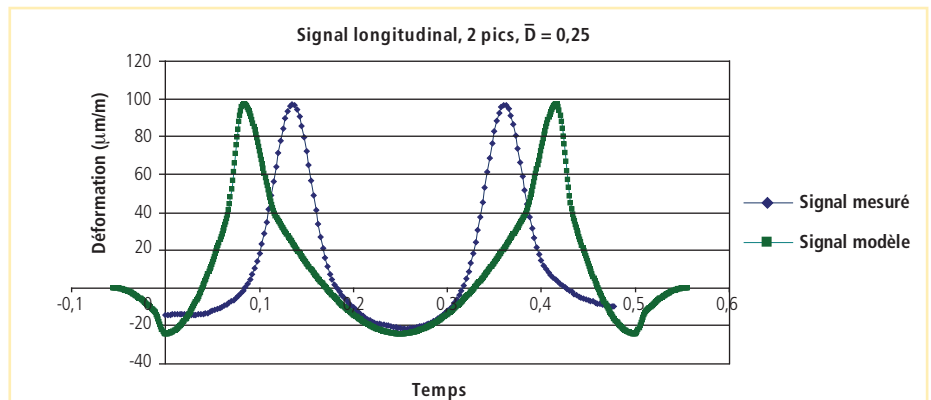


Figure 5
Les signaux synthétiques longitudinaux surestiment l'empattement
Synthetic longitudinal signals overestimate the wheel base

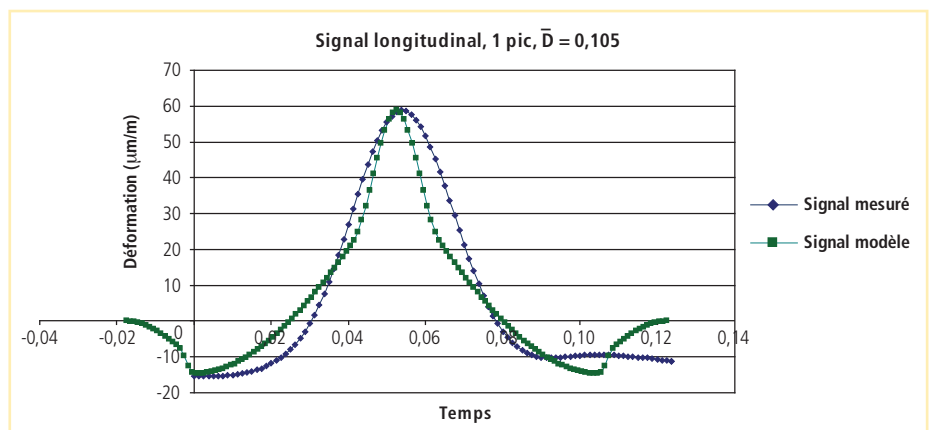


Figure 6
La durée au voisinage immédiat du pic est sous-estimée par les signaux synthétiques longitudinaux
Duration in immediate vicinity of peak is underestimated by synthetic longitudinal signals

Malgré ces imperfections, des essais complémentaires ont montré que ces points avaient une importance mineure et que les résultats obtenus avec les signaux modèles étaient tout à fait acceptables.

Un autre intérêt majeur des mesures est qu'elles peuvent aussi servir de base de comparaison par rapport à des signaux résultant de la simulation numérique.

La simulation numérique par éléments finis consiste à reproduire la manière dont, pour une géométrie de chaussée et un matériau donnés, le passage d'un essieu en surface se traduira en termes de cinétique de déformation.

Elle s'appuie sur l'utilisation de lois de comportement adaptées [8] et le recours à un logiciel de calcul, Viscoroute 2.0 [9]. Une fois la démarche validée (c'est-à-dire quand le modèle numérique reproduit des signaux similaires aux mesures), on peut quantifier leurs coefficients de forme et estimer la durée de vie de la chaussée sous la répétition d'un tel chargement.

A titre d'exemple, la figure 7 reproduit des signaux longitudinaux et transversaux simulés au passage d'un tridem. Leur allure peut être comparée à celle des signaux de la figure 1 (les matériaux et conditions de chargement sont ici différentes). Les signaux manègent permettent donc de valider l'ensemble de la démarche de modélisation (modèle du matériau + passage de l'échelle du matériau à l'échelle de la chaussée), et de proposer des améliorations éventuelles pour les méthodes de dimensionnement.

Une fois le cadre de la simulation numérique validé, on peut facilement étudier l'effet de chaque facteur : configuration d'essieu, vitesse, charge à la roue, ... D'autres perspectives s'ouvrent, dont deux ont été récemment explorées :

- La caractérisation de l'agressivité comparée des poids lourds correspondant à différentes configurations. On a par exemple montré [10], pour deux structures de chaussée, qu'augmenter de 10 % la charge transportée par les poids lourds T253 en la faisant passer de 40 à 44 tonnes augmentait l'agressivité de 37 % (et réduisait donc la durée de vie du même pourcentage). Ce résultat de la modélisation reste cependant à confirmer par des essais de fatigue en vraie grandeur.

- On a étudié l'effet du balayage des charges sur la voie de circulation. L'hypothèse de trafic totalement canalisé est extrêmement défavorable, et ne correspond pas à la réalité (sauf dans le cas très particulier de trafic guidé comme pour certains transports publics, de type tramway). Il est cependant difficile d'estimer la marge de sécurité (en termes de durée de vie) que procure la prise en compte du balayage et d'en profiter pour optimiser le dimensionnement. C'est l'un des atouts de la simulation, qui permet de générer les signaux sous des charges dont la trace peut varier d'un passage à l'autre. Là encore, le manège ouvre à des comparaisons intéressantes, pour peu que l'on ait déplacé la charge ou enregistré les déformations en différentes positions transversales.

La figure 8 illustre un résultat obtenu en déplaçant un essieu autour d'une position de référence (simulation d'une demi-chaussée). La déformation maximale mesurée en position 4 (à 72,5 cm de l'axe de la chaussée) est obtenue quand la charge passe à la verticale du point de mesure, et décroît quand on déplace la charge. Par exemple, en position 5 (12,5 cm plus à droite), elle diminue de 3 %, et en position 6 (5 cm plus à droite) de 133 %. Traduites en termes de durée de service en fatigue, le gain respectif est de 143 % et de 783 %, si l'on considère le coefficient $a = -4,78$ de l'équation 1. Ces questions seront prochainement affinées, pour prendre en compte de manière plus rationnelle l'effet du balayage.

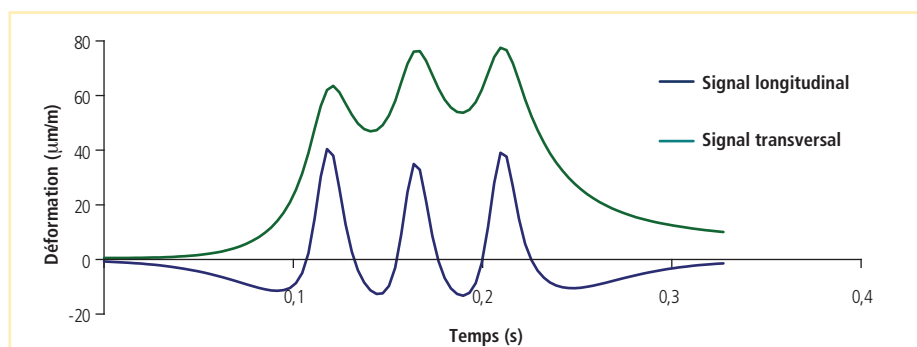


Figure 7
Exemple de signaux simulés par éléments finis au passage d'un tridem
Example of finite-element simulated signals upon passage of a tridem axle

D.R.

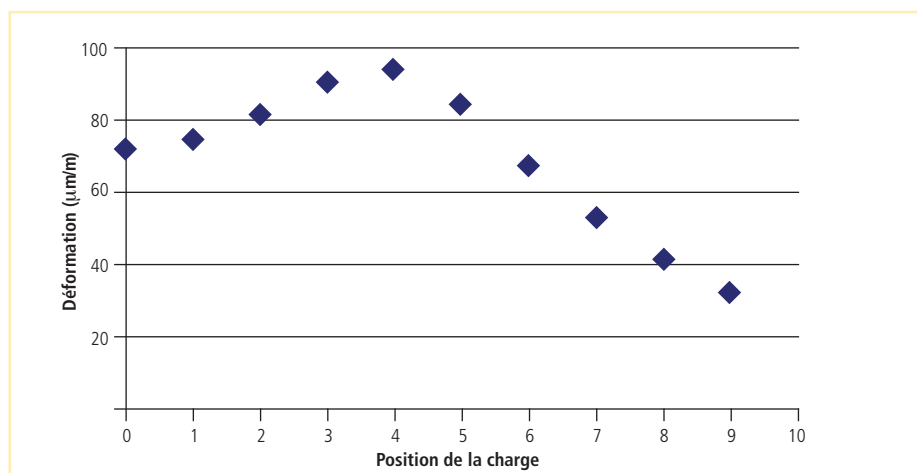


Figure 8
Effet du balayage sur la déformation longitudinale maximale
Effect of sweeping on maximum longitudinal deformation

D.R.

Conclusions

Comprendre et modéliser la durée de vie des chaussées en fatigue reste un défi du fait à la fois de la complexité des phénomènes impliqués et des difficultés expérimentales, aussi bien sur site qu'au laboratoire.

Dans cette optique, les campagnes expérimentales menées sur le manège de fatigue permettent d'acquérir des informations difficilement remplaçables. Ces informations peuvent être exploitées et valorisées à la fois en amont et en aval d'une démarche de recherche.

Dans le projet exposé ici, les signaux enregistrés sur le manège ont servi de base pour justifier le choix de signaux synthétiques complexes, représentatifs de conditions réelles de chargement. En phase de modélisation et de validation, les signaux de manège peuvent être exploités pour comparer les résultats issus de la simulation aux mesures. Bien entendu, ces expériences demeurent lourdes et coûteuses, et l'on est parfois désarmé devant l'amplitude du travail à mener pour exploiter pleinement les mesures de manège, tant est riche l'information fournie par la métrologie mise en place. Le fait, par exemple, de disposer de données nombreuses et de qualité contrôlée reste un atout majeur, qui pourra être valorisé dans une optique réglementaire, pour mieux prendre en compte les effets de la variabilité spatiale des matériaux ou temporelle des conditions d'exploitation. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LCPC-SÉTRA 1994. Conception et dimensionnement des structures de chaussées, Guide technique
- [2] Norme EN 12 697-24, Mélanges bitumineux – méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – partie 24 : résistance à la fatigue, août 2012
- [3] Breyse D., de La Roche C., Chauvin J.-J., Domec V., 2002, Fatigue tests on bituminous composites: balance between damage and recovering, 15th ASCE Engineering Mechanics conference, Columbia University, New York
- [4] Merbouh M., Breyse D., Moriceau L., Laradi N., 2007, Comportement en fatigue des enrobés de chaussées aéronautiques sous actions de grande intensité, 25^e rencontres universitaires de l'AUGC, Bordeaux, 2007
- [5] Kogo K., Himeno K., 2008, The effect of different waveforms and rest period in cyclic loading on the fatigue behavior of the asphalt mixtures, Pavement cracking - Al Qadi, Scarpas & Loizos (eds), p. 509-517
- [6] Homsy, F. Bodin, D., Yotte, S., Breyse D., Balay, J.-M., 2011, Multiple axle loadings: shape parameters and their effect on the fatigue life, European Journal of Environmental and Civil Engineering EJECE, Vol. 15, n. 5/2011, p. 743-758
- [7] Homsy, F., Bodin, D., Yotte, S., Breyse, D., Balay, J.-M., Fatigue life modelling of asphalt pavements under multiple axle loadings, Road Materials and Pavement Design, Volume 13, num. 4, dec. 2012, pages 749-768
- [8] Chailleux, E., Note d'utilisation de l'application logicielle viscoanalyse, 2007
- [9] Chabot, A., Chupin, O., Deloffre, L., Duhamel, D., 2010, ViscoRoute 2.0, A tool for the simulation of moving load effects on asphalt pavement, Road Materials and Pavement Design. Vol. 11, n. 2/2010, p. 227-250
- [10] Homsy F., Endommagement des chaussées bitumineuses sous chargement multi-essieux, Doct. Ecole Centrale de Nantes – Univ. Nantes, 2011



Use of test track in construction of fatigue model for pavement under multi-axle loading

This article illustrates how the complex problem of testing pavements for fatigue under multi-axle loads is achieved, combining several experimental and digital approaches: full-scale testing on the fatigue test track, a series of laboratory tests on standardised laboratory specimens and finite-element numerical simulations.

The combination of these elements is aimed at a better understanding of influence factors, quantifying their effects and reproducing them in different utilisation configurations.

They make it possible to tackle the multiple difficulties encountered with this type of problem and predict the expected service life of pavements under complex loads.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEUR

Professeur André-Gilles Dumont
Directeur du projet *FORCE*
à Nantes en 1989
Directeur du Laboratoire
des voies de circulation
Ecole polytechnique
fédérale de Lausanne (EPFL)
(Suisse)



Projet *FORCE*
FORCE project

Le manège de Nantes et le projet *FORCE* de l'OCDE en 1989



A partir des années 1980, l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique) a entrepris des évaluations des recherches et des technologies dans le domaine des structures routières. Cette organisation a mis sur pied un groupe d'experts scientifiques visant à créer un lien entre l'approche théorique, les essais de laboratoire et le comportement réel des chaussées sous trafic. Le manège de Nantes a été utilisé en 1989 pour réaliser une expérimentation réunissant des experts de 15 pays. Ce projet, nommé *FORCE* (*First OECD Road Common Experiment*), a été motivant pour les experts qui se sont déplacés tout le long de l'expérience ; il a permis de tirer de nombreux enseignements concernant la technique routière.

Essais accélérés en vraie grandeur

Depuis les essais de chargement accéléré en vraie grandeur menés aux Etats-Unis entre 1956 et 1960 (essai *AASHO*, *American Association of State Highways Officials*), l'on connaît le bénéfice considérable apporté par la collecte de données réalistes sur le comportement des chaussées routières.

Rapidement, les centres de recherche ont conçu des systèmes fixes ou mobiles permettant de s'affranchir de camions (et de conducteurs) circulant sur des pistes. Des machines complexes ont alors été développées pour appliquer un très grand nombre de charges réalistes sur des chaussées construites à l'identique des chantiers.

La discussion s'est focalisée sur la forme (circulaire ou linéaire) de la piste, les deux types d'équipement ont vu le jour et ils sont aujourd'hui plus de 30 en service dans le monde.

En Suisse, une piste linéaire de 6 mètres a été mise en service à l'Ecole polytechnique

fédérale de Lausanne (EPFL) alors que celle de Zürich choisissait un manège à trois bras de charge avec un diamètre de 30 mètres. C'est aussi cette solution, plus ambitieuse, qui a abouti à l'imposant manège de Nantes.

Le débat animé sur les systèmes linéaire ou circulaire a été résolu de manière très astucieuse par le *CEDEX* (*Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas*) à Madrid, où la forme d'un hippodrome a été choisie, combinant ainsi des alignements adaptés à des recherches des chaussées avec des courbes pour l'étude des caractéristiques de surface.

Des équipements linéaires mobiles sont également utilisés, comme actuellement à l'*EMPA* (*Eidgenössische Materialprüfungs-Und Forschungsanstalt*) en Suisse avec le *MSL10* (*Mobile Load Simulator*). Enfin, des équipements qui combinent les avantages de l'essai *AASHO* et des accélérateurs de trafic sont des pistes qui peuvent être circulées par des camions automatiques téléguidés comme au Japon et aux Etats-Unis.

On peut proposer une typologie des installations (tableau 1) selon leur géométrie mais surtout selon leur fonctionnalité et leur capacité à contrôler les paramètres climatiques (température, gel/dégel, niveau de la nappe phréatique, etc.).

Type d'installation	Application des charges	Effet d'accélération des charges	Sections de chaussées sollicitées	Contrôle des paramètres climatiques
Linéaire intérieur (fixe)	Aller/retour ou continue	Faible	Unique	Possible
Linéaire extérieur (mobile)	Aller/retour ou continue	Moyen	Unique	Non
Circulaire	Continue	Elevé	Multiples	Parfois
Pistes	Continue	Faible	Multiples	Non

Tableau 1
Typologie générale des installations. En rouge une configuration optimale
General typology of installations. In red, an optimal configuration

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

L'apport déterminant de l'OCDE

Un premier groupe d'experts de l'OCDE a établi en 1985 un inventaire exhaustif des installations en service et a mis l'accent sur la nécessité d'une coordination internationale.

Il fut décidé de se concentrer en priorité sur la métrologie et sur l'acquisition et l'analyse des données. Ainsi fut mise sur pied une première expérience en commun sur la piste d'essai de Nardò en Italie, en 1984 [1]. On constata, par exemple, des différences considérables de mesure de la déformation horizontale en bas de la couche bitumineuse [2]. Le besoin d'une collaboration internationale entre les équipes de chercheurs aboutit au lancement du projet *FORCE* [3]. Le manège de Nantes (photo 1) fut sélectionné pour sa possibilité de tester plusieurs sections, pour sa capacité d'accélération des charges et pour les compétences et la disponibilité de l'équipe scientifique et technique du LCPC.

En 1989, les 3 structures de chaussée (figure 1) réalisées, soit souple mince, souple épaisse et semi-rigide, ont été soumises au rayon de 16 et 19 mètres à plus de 4,5 millions de charges de 10 et 11,5 tonnes.

Cela représente près de 60 millions de données qui ont ainsi été recueillies. Les épaisseurs des couches de fondation et revêtements seront volontairement sous-dimensionnées, au vu des charges appliquées, pour s'assurer que des dégradations remarquables soient obtenues, à coup sûr et rapidement (photo 2).



Photo 2
Profil longitudinal et orniéage sous la charge de 11,5 tonnes
Longitudinal profile and rutting under 11.5-T load



Photo 1
Le manège de fatigue du LCPC en 1989
The LCPC fatigue test track in 1989

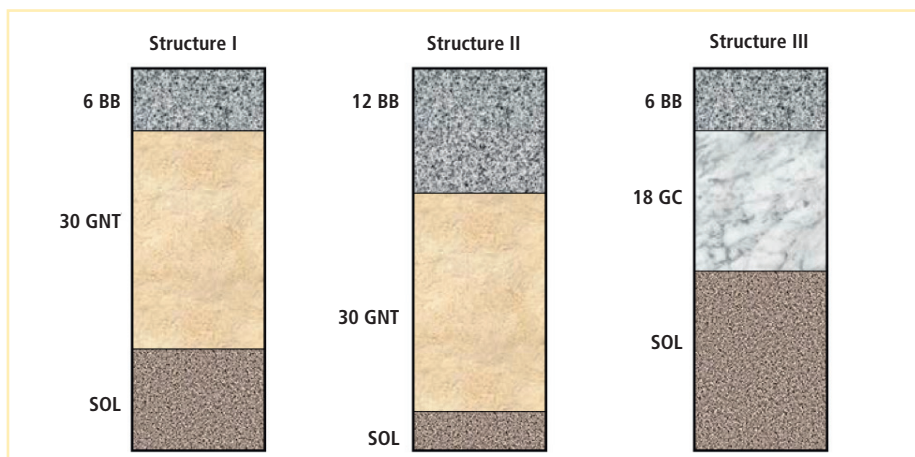


Figure 1
Structures de chaussées réalisées
Pavement structures completed

Bénéfices tirés du projet *FORCE*

Les résultats et enseignements tirés de l'essai *FORCE* touchent plusieurs aspects importants de la technique routière :

- une clarification des mesures de l'état de sollicitation et du comportement des chaussées,
- une comparaison des effets des charges d'essieu de 10 et 11,5 tonnes,
- un ajustement des coefficients d'agressivité en fonction de l'état de dégradation,
- le perfectionnement des analyses semi-automatiques des signaux de jauges,
- des progrès dans l'utilisation des modèles de comportement des chaussées,
- le développement de méthodes originales de relevé des dégradations et d'analyse semi-automatique des signaux de jauges,
- l'application des mesures au *FWD* (*Falling Weight Deflectometer*) et au Pénétradar *GPR* (*Ground Penetrating Radar*).

Il a aussi été un élément motivant des experts des pays participants (photo 3) qui se sont déplacés sur le site du LCPC en grand nombre tout au long de l'expérience. Ainsi, on peut relever :

- l'amélioration des procédés d'utilisation des installations et des essais en vraie grandeur,
- un effet de formation et d'amélioration des compétences des ingénieurs-chercheurs.

Ce projet montra également la voie aux grandes coopérations des programmes-cadres de l'Union européenne dont *FOR* (*Forever Open Road*), qui débouche sur la Route de 5^e génération, est un exemple probant [4].



Photo 3
Experts du projet *FORCE*
FORCE project experts

Météologie et instrumentation

De multiples techniques innovantes ont été proposées afin de mieux connaître le comportement de la chaussée en termes de réponse ou de performance. Les expériences de l'OCDE ont mis en évidence la faiblesse de certains types de capteurs noyés dans le revêtement bitumineux. Si le module apparent du capteur est plus élevé que celui du matériau dont il est censé mesurer les mouvements, alors la mesure sera inférieure à la déformation effective. Cet effet s'accroît encore aux températures élevées. Le capteur idéal devrait présenter un module identique à celui du mélange bitumineux et suivre les variations de température. Des essais en laboratoire ont démontré ce phénomène en sollicitant en flexion une plaque de résine dans laquelle sont noyées des jauges de rigidité différentes.

Une technique intéressante, que l'on pourrait qualifier de *double carotte*, a été appliquée à Nardò et à Nantes, en particulier par la Finlande (photo 4). Elle consiste à prélever une carotte, à coller à sa base une jauge et à la replacer dans la structure en remplissant l'interstice de sciage avec une résine permettant de recréer la continuité mécanique.

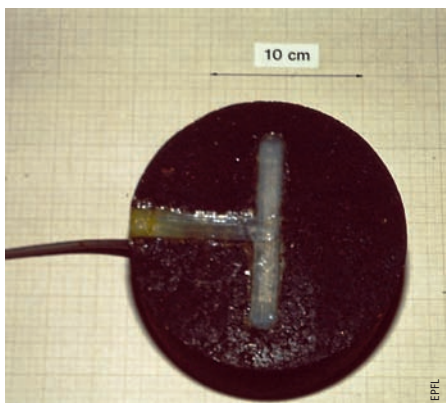


Photo 4
Jauge à la base d'une carotte
Gauge at base of core sample

Pour réduire au maximum l'épaisseur de résine, et donc son effet de rigidification, il est préférable de disposer d'une seconde carotte prélevée à proximité mais d'un diamètre très proche du trou carotté. Afin de procéder au relevé de la fissuration (photo 5), une trame physique a été positionnée sur la surface de la chaussée et une géographie des dégradations a été établie à chaque étape de chargement. Le dessin relevé manuellement est ensuite numérisé afin de quantifier la longueur des fissures, la surface de la zone des fissures et donc la réalisation d'une cartographie des dégradations à l'aide d'outils informatiques.



Photo 5
Relevé des fissures avant numérisation
Recording of cracks before digitising

L'évolution de la surface fissurée rapportée au nombre de charges appliquées (figure 2) montre que l'essieu de 11,5 tonnes dégrade très rapidement la chaussée et surtout avec un effet d'accélération largement plus fort que celui de 10 tonnes. A l'époque du projet *FORCE*, la directive européenne sur les charges d'essieu faisait encore débat. Il était notamment discuté de la nécessité d'exiger ou pas que la charge de 11,5 tonnes soit obligatoirement couplée avec une suspension pneumatique qui réduirait les surcharges dynamiques.

Ce même résultat a permis d'affiner le coefficient d'équivalence des charges ou facteur de la loi de puissance, fixé à 4 par les essais *AASHO*.

Si l'on considère que lorsque 30 à 40 % de la surface est fissurée, la limite de durée de vie nécessitant des travaux d'entretien est atteinte, alors on constate que le coefficient pour 10 tonnes se situe entre 3,68 et 4,48. Ce résultat est donc cohérent avec la prise en compte de l'effet des différentes charges dans les méthodes empiriques de dimensionnement. Pour 11,5 tonnes, l'évolution de la fissuration présente une accélération qui, à l'époque, pouvait inquiéter les gestionnaires de réseau mais qui ne s'est pas complètement vérifiée au cours des vingt dernières années.

Mesure de déformation au sein des couches bitumineuses

Il est intéressant de relever que les signaux de jauges placées à l'interface des couches bitumineuses ont parfois donné des mesures qualifiées, à l'époque, de *signaux perturbés*. Ces mesures ont été écartées de l'analyse de la réponse de la chaussée. Dans sa thèse, Perret [5] a modélisé le comportement élastique des couches bitumineuses (figure 3) et a démontré le comportement mécanique spécifique à faible profondeur (3 à 7 cm de la surface). La superposition du signal modélisé (comportement élastique, selon Huet) et du signal mesuré est suffisante pour affirmer qu'au passage d'une charge, les contraintes principales subissent une rotation et induisent des sollicitations élevées dans le matériau. Très récemment, l'article de V. Mauduit *et al.* [6] mettait en évidence l'apparition subite de dégradations justement à faible profondeur à l'intérieur des couches bitumineuses.

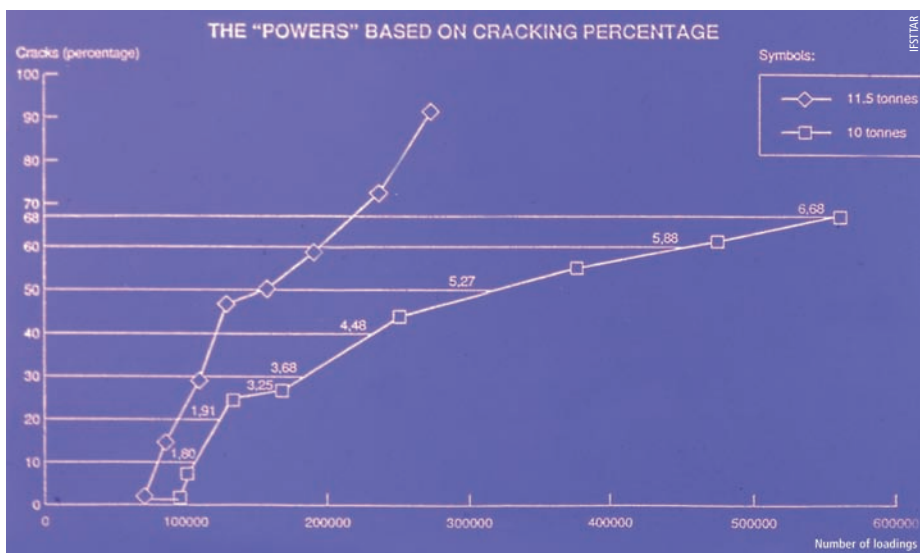


Figure 2
Evolution du facteur de la loi de puissance avec les chargements
Evolution of power law factor with loads

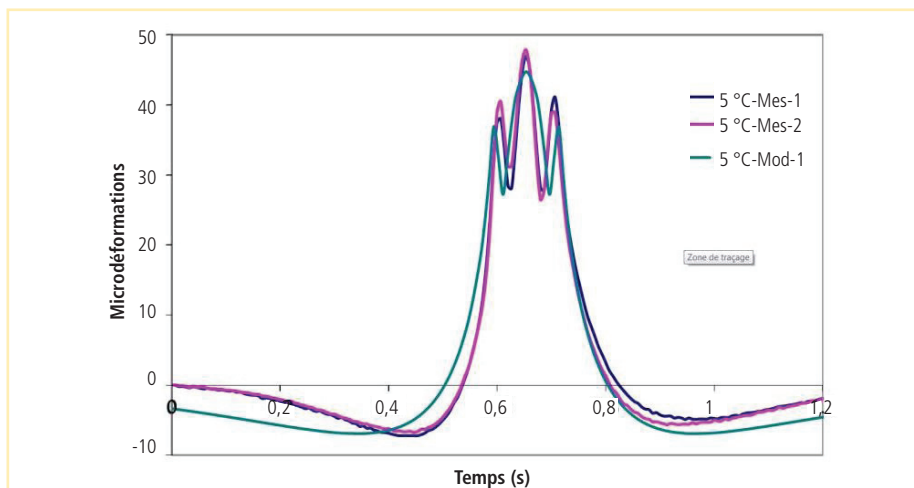


Figure 3
Signaux de jauge à faible profondeur obtenus par mesure et modélisation
Short-depth gauge signals obtained by measurement and modelling

Perret 2003



Nantes test track and OECD'S FORCE project in 1989

As of the 1980s, the OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) undertook research and technology evaluations in the field of road structures. It set up a group of scientific experts aimed at creating a link between the theoretical approach, laboratory tests and the real behaviour of pavements under traffic. The test track in Nantes was used in 1989 to carry out tests bringing together experts from 15 countries. This project, called FORCE (First OECD Road Common Experiment) was motivating for the experts who travelled throughout the testing. It yielded many teachings concerning highway engineering.

Le potentiel des essais accélérés en vraie grandeur

A mi-chemin entre la modélisation en laboratoire et la chaussée sous trafic réel, les essais accélérés en vraie grandeur apportent des réponses sur des préoccupations très actuelles mais des pistes restent encore à explorer [7 à 10].

- Dans la compétition sur les innovations « éco-compatibles », apparaît le risque de faire abstraction d'autres paramètres comme le comportement à long terme. Les essais en vraie grandeur peuvent confirmer en quelques semaines aux producteurs de matériaux de chaussées que leurs produits apportent aussi un gain de performance sur le cycle de vie.

- La calibration des méthodes de dimensionnement et des modèles de comportement doit compléter les outils de gestion de la maintenance. De même, les effets du changement climatique donnent des hypothèses que l'on peut développer dans des modèles mathématiques d'évolution de chaussée. Les essais accélérés permettent de consolider les résultats.

- Finalement, les dispositifs d'essais de chaussées comme le manège simulent seulement le trafic routier lourd, (charge à l'essieu jusqu'à 130 kN). Ces installations pourraient s'adapter pour résoudre des problèmes d'entretien de structures aéroportuaires et ferroviaires. Ainsi, les effets vibratoires des charges mobiles pourraient être reconstitués. Il faudrait cependant compter avec des modifications lourdes même pour des simulations partielles des charges qui sont très élevées sur ces véhicules.

- Une amélioration possible du manège IFSTTAR serait de disposer d'une couverture sur l'une des trois pistes d'essai. Actuellement les paramètres d'environnement comme les gradients de température et les variations de l'état hydrique des couches non liées sont mesurés, ils seraient ainsi contrôlés. Cela apporterait un plus à l'installation qui est déjà l'une des plus performantes parmi les accélérateurs de trafic routier. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Essais en vraie grandeur des superstructures routières, OCDE Recherche Routière, 1985
- [2] Mesures de déformations dans les couches hydrocarbonées, A.-G. Dumont, I. Scazziga, Route et Trafic, octobre 1985
- [3] Essai OCDE en vraie grandeur des superstructures routières, OCDE Recherche routière, 1991
- [4] N. Hautière, C. de La Roche, H. Jacquot-Guimbal, « La route de cinquième génération (R5G). Quelle infrastructure dans vingt ans et quels services en attendre ? Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 910, mars 2013, pp 28-35 www.rgra.fr
- [5] J. Perret, A.-G. Dumont (Dir.). Déformations des couches bitumineuses au passage d'une charge de trafic. Thèse EPFL, n° 2786, 2003
- [6] Dégradation subite des enrobés bitumineux par période de gel/dégel, V. Mauduit et al., BLPC n° 279 janvier-mars 2013.
- [7] Improvements in pavement research with accelerate load testing, COST 347, European Commission, Brussels, 2005
- [8] Advances in Pavement Design through Full-scale Accelerated Pavement Testing, Edited by Imad Al-Qadi, CRC Press, 2012
- [9] Performance Testing for Superpave and Structural Validation, Publication FHWA-HRT-11-045, 2012
- [10] Evaluation of the Aggressiveness of Different Multi-Axle Loads Using Accelerated Pavement Tests, J.-P. Kerzrého et al, 4th International Conference on Accelerated Pavement Testing, 2012

AUTEUR

Yves Brosseau
Ingénieur de recherche
Laboratoire des matériaux
des infrastructures de transport
Département matériaux et structures
IFSTTAR



Répandage d'un BBTM sur le manège de fatigue
Placing a very thin asphalt concrete on fatigue test track

Il était une fois la durabilité des produits bitumineux innovants testés sur le manège de fatigue



Les techniques innovantes d'hier sont devenues les techniques opérationnelles d'aujourd'hui, par suite de la mobilisation de tous les acteurs de la profession routière :

- entreprises développant des produits et des moyens, issus de la recherche,
- maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre instituant des dispositions pour évaluer et comparer l'intérêt de ces innovations (concours, charte, chantiers expérimentaux, ...),
- laboratoires d'essai et de recherche disposant de moyens d'étude en semi-vraie grandeur tels que le manège de chaussées de Nantes permettant « l'accélération du temps », et par conséquent la validation des techniques.

Cet article présente les résultats de synthèse des expérimentations concernant le développement des nouvelles couches de roulement, pour l'époque : les bétons bitumineux drainants (BBD_r), les bétons bitumineux minces (BBM) et surtout très minces (BBTM), dont les formulations à fine granularité réduisent les nuisances sonores tout en améliorant les conditions d'adhérence. Les enrobés issus de différentes méthodes de formulation en laboratoire des enrobés de surface ont été soumis à l'épreuve du manège, pour comparer la pertinence de ces études. La durabilité sous trafic et dans le temps reste la question majeure des ingénieurs pour le choix des techniques, le manège constitue une réponse intéressante et pertinente, même pour les couches de surface.

Préambule

Cette histoire raconte l'usage du manège d'essais des chaussées pour tester la durabilité de nouveaux matériaux tant sur le plan structurel que sur celui des propriétés de surface. Les techniques innovantes d'hier sont devenues rapidement, grâce à « l'accélération du temps » par le manège, les techniques opérationnelles d'aujourd'hui ; elles offrent une très large palette de matériaux et procédés pour la construction et l'entretien des chaussées, toujours plus sollicitées et de plus en plus durables, par nécessité économique.

En effet, les ingénieurs et gestionnaires se posaient un certain nombre de questions, sur l'aptitude des nouvelles techniques à supporter le trafic lourd en termes de :

- post-compactage des formules à fort pourcentage de vides, comme les BBD_r, sans perte significative de leur porosité ;
- l'arrachement des BBM ou des BBTM, dans la couche ou à l'interface, sous les effets du cisaillement ;
- les conditions favorables ou les restrictions d'emploi des techniques innovantes, comme le complexe d'enrobé à module élevé (EME) et les BBTM ;
- l'amélioration de la durabilité des matériaux bitumineux, vis-à-vis de la résistance

en fatigue et/ou de la résistance à l'ornièrage, par l'emploi de liants modifiés par des polymères (BmP), de liants spéciaux (multigrade à faible susceptibilité thermique), ou d'additifs.

Cet article dresse un bilan de l'intérêt du manège pour répondre à ces questions, notamment vis-à-vis des propriétés de surface des matériaux bitumineux pour couches de roulement.

Le trafic poids lourd reste en évolution croissante depuis plus de 30 ans. La configuration des poids lourds a changé avec une forte progression du nombre d'essieux tridem à roues simples, une

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

augmentation de la charge totale roulante (celle-ci atteint maintenant 44 tonnes) et de la pression de contact. La charge maximale pour un essieu isolé, en France, reste de 13 tonnes. Cette agressivité plus forte se traduit par l'existence de phénomènes d'orniérage sur les zones à fort trafic et les sites difficiles. Des matériaux nouveaux, souvent à base de liants spéciaux ou modifiés par des polymères, se sont développés pour améliorer le comportement des chaussées face à l'accroissement des sollicitations.

Les BBDr (expérimentation manège 1987)

Cette technique innovante a été ressentie par les usagers comme « la révolution » la plus marquante dans les couches de roulement : fini les projections d'eau par temps de pluie, la visibilité est excellente, et les conditions de circulation sont fortement améliorées. On retiendra la phrase de l'article de la RGRA sur l'expérimentation BBDr [1] : « Leur teneur en vides (environ 20 %) leur confère des caractéristiques hydrauliques et acoustiques qui apportent à l'utilisateur sécurité et confort. Ils connaissent actuellement en France un développement très important ».

Pour l'ingénieur routier, c'est aussi une gageure, car la couche de surface n'est plus imperméable, elle doit au contraire laisser passer l'eau à l'intérieur de la couche, mais celle-ci doit être évacuée latéralement, sinon sa stagnation va provoquer du désenrobage. Les premières applications se situent au début des années 1980, pour connaître un développement significatif et industriel en 1986, par la réalisation d'une section de 10 km sur l'autoroute A1, la plus chargée de France, au nord de Paris. L'année suivante, il est réalisé, sur le manège des chaussées [2, 3], entre le 17 août et le 22 octobre 1987, à 1,1 million de chargements, sur une expérimentation de BBDr. Le but est de comparer deux formules d'enrobés drainants de l'Administration présentant une forte discontinuité 2/10, au bitume pur et modifié, et deux procédés de l'entreprise SCREG (groupe Colas), présentant une discontinuité moyenne 2/6, l'un au bitume modifié par des polymères SBS et l'autre utilisant des fibres. Cette expérimentation est une première, à double titre. Le manège conçu pour tester des structures réalisées en vraie grandeur, est utilisé pour évaluer les comportements à long terme, sous fort trafic, des couches de roulement. De plus, c'est la première fois qu'une entreprise soumet ses propres produits,

les compare aux formules de l'Administration, et affronte la terrifiante machine à casser les chaussées.

Les formulations testées des enrobés 0/14 à forte ou moyenne discontinuité (disparus aujourd'hui par manque d'efficacité), les épaisseurs en place (moyenne visée 4 cm, conventionnelle en couche de roulement) et les résultats obtenus en termes de pourcentage de vides (initiaux, et la baisse constatée en fin d'expérience) sont récapitulés au tableau 1. Les chaussées supportant ces BBDr, en phase d'entretien, étaient composées de deux structures inverses et de deux structures bitumineuses épaisses, présentant de faibles déflexions, respectivement 15 à 30 et 50 centièmes de mm.

La question de la durabilité de ces BBDr, sous trafic intense, se pose tant sur le plan de l'évolution de leurs capacités de drainabilité verticale et horizontale, pour lesquelles ils ont été mis au point, que sur celui des propriétés mécaniques. Celles-ci sont deux fois plus faibles que les enrobés denses épais ou minces, du fait de la porosité atteignant les 20 à 25 %.

densification sur les formules à forte discontinuité au bitume pur, et dans une moindre mesure au BmP. Pour les formules avec une discontinuité moyenne, cette diminution de porosité est plus faible pour le matériau à base de BmP, et quasi nulle pour le BBDr avec fibres.

Le bilan de comportement est excellent, notamment pour les formulations d'entreprise, et particulièrement pour le BBDr 2, à base de fibres, qui permet d'augmenter très fortement la teneur en bitume, sans conséquence sur l'égouttage, ni sur la réduction de la teneur en vides ou de la porosité en service. Les caractéristiques d'adhérence, évaluées par l'essai statique au pendule (*Skid Resistance Tester*) *SRT* sont jugées satisfaisantes. L'évolution (baisse de 15 points en *SRT*) aboutit à des valeurs moyennes en relation avec la résistance à l'usure de la roche (coefficient de polissage accéléré (CPA) du matériau La Noubleau 0,48). Cela souligne l'importance du choix d'un gravillon de bonne qualité, pour les BBDr, du fait de la sensibilité de l'adhérence à basse vitesse, en relation avec la nature du granulat et des conditions de compactage mettant « à plat » les gravillons.

Formule BBDr	0/14 disc 2/10 Administration	0/14 disc 2/10 Administration	BBDr 1 0/14 disc 2/6 Screg	BBDr 2 0/14 disc 2/6 Screg
Liant	50/70 pur	BmP Bitulastic F45	BmP Bitulastic F45	50/70 pur + fibres
Teneur en bitume (%)	4,3	4,3	4,3	5,7
Teneur en fines totales (%)	5,5	5,5	5,5	9
Passant à 2 mm				
Épaisseur (mm)	42	34	38	42
Teneur en vides initiale (%)	12/17	17/22	16/19	22/23
Evolution vides - fin d'essai (%)	- 30	- 20	- 15	- 5

disc : courbe granulométrique discontinue

Tableau 1

Composition et comportement des enrobés drainants par évolution des teneurs en vides
Composition and behaviour of porous asphalt through evolution of voids contents

Les conclusions de l'essai manège ont été les suivantes :

- Les BBDr n'ont subi aucune dégradation de surface (seuls quelques arrachements ponctuels constatés sur la formule Administration au bitume pur), ni de déformation significative par orniérage. Lors des premières rotations (0,1 à 0,3 million de chargements), on observe une mise en place de la mosaïque un peu plus marquée pour les BBDr Administration 5 mm, que pour les produits SCREG, à savoir seulement 2 mm, puis une très bonne stabilité. Cela démontre la très bonne résistance à l'orniérage et aussi le maintien de la rugosité de surface de ces BBDr, confirmés par les comportements routiers.
- Le pourcentage de vides, tout comme la porosité et la perméabilité ont tendance à diminuer significativement par

Cette expérimentation s'est révélée importante pour apprécier la durabilité à long terme des matériaux routiers innovants, qu'ils soient de surface ou de structure.

Les BBTM 0/10 (expérimentation manège 1988)

La réduction des épaisseurs d'enrobés pour l'entretien des chaussées en bon état structurel a été une nécessité économique, qui a conduit à une optimisation technique des compositions d'enrobés pour satisfaire les exigences en matière de sécurité sur le plan de l'adhérence, de confort par réduction du bruit de roulement, et de durabilité plus importante, associée aux difficultés

d'intervention sur les réseaux routiers structurants. Les bétons bitumeux minces (BBM) de 4 cm sont apparus au milieu des années 1970, puis 10 ans après les BBTM de 2,5 cm se sont développés grâce au Concours de techniques innovantes lancé par la direction des Routes pour trouver les meilleurs compromis : prix, performances, durabilité, pour l'entretien des routes nationales renforcées ; enfin les bétons bitumeux ultra-minces (BBUM) de l'épaisseur du granulat ont mis fin à l'évolution en 1990. L'adaptation des formules d'enrobés s'est faite par l'introduction de discontinuités granulométriques, la réduction progressive du dosage en sable, l'augmentation de la teneur en bitume, la mise sur le marché des BmP et l'ajout de fibres, et enfin par une réduction de la granularité, en passant successivement de 14, à 10, puis 6 mm.

La seconde expérimentation sur les couches de surface, a donc logiquement mis en scène la technique innovante pour l'entretien au plus mince des caractéristiques de surface de chaussées en bon état, en 1988, toujours en période estivale (juillet et août) [4, 5]. Les structures inverses et bitumineuses ont été recouvertes par deux formules de BBTM de granularité 0/10 discontinu 2/6, l'un à base liant BmP (copolymères EVA) (BBTM 1, Entreprise Jean Lefebvre (Eurovia)), l'autre au bitume pur 50/70 incorporant des fibres (BBTM 2). Les compositions de ces BBTM, leurs épaisseurs et le comportement vis-à-vis de la texture sont récapitulés au tableau 2.

Le bilan de comportement, après 2 millions de passages d'un essieu jumelé type de 13 t, à la vitesse de 70 km/h, sous une température moyenne de 25 °C (étendue 15 °C à 40 °C) et sous arrosage pour refroidir les pneumatiques s'avère très satisfaisant.

Les principales conclusions de l'essai manège ont été les suivantes :

- La mise en place des BBTM réduit et homogénéise sensiblement les déflexions d'environ 20 centièmes de mm et, par voie de conséquence, le taux de travail, mesuré par les jauges de contrainte dans la grave-bitume 0/20 classe 2, est réduit de 35 %. Bien évidemment, cette amélioration s'annule en fin d'essai, avec l'apparition de fissurations de surface.

- Le collage des BBTM, par l'application de couche d'accrochage surdosée (400 à 450 g/m² de résiduel) à base d'émulsion modifiée, a été effectif durant toute la durée de l'essai. Dans le rapport interne de l'époque, on mentionnait, et à juste titre, « ceci est sans doute une condition de succès de ces techniques de tapis minces ».

Formule BBTM	0/10 discontinu 2/6 BBTM 1	0/10 discontinu 2/6 BBTM 2
Liant	BmP EVA – G7	50/70 pur + fibres
Teneur en bitume (%)	5,25	6,3
Teneur en fines totales (%)	10,2	9
Passant à 2 mm	33	27
Épaisseur (mm)	25	31
Texture initiale HS (mm)	1,4	2,2 *
Texture finale HS (mm) [baisse %]	1,1 [- 20 %]	1,2 [- 50 %]*
Drainoroute** initial (%)	34	40
Drainoroute** final (%) [baisse %]	61 [+ 80 %]	73 [+ 85 %]

* valeur initiale de rugosité très forte pour un BBTM 0/10, résultat souvent dispersé, ne pas en tenir compte

** Drainoroute : appareil de mesure de la drainabilité superficielle d'un revêtement, mesure le débit d'eau au travers d'un patin métallique traîné sur la chaussée, simulant l'écoulement sous le pneu (échelle de mesure : 0 % revêtement complètement lisse, 100 % le patin n'est plus en contact avec la chaussée, pour information un ESU double gravillonnage 10/14 – 4/6 présente une valeur proche de 90 %)

Tableau 2

Composition et comportement des enrobés très minces par évolution de la texture et drainabilité
Composition and behaviour of very thin asphalt through evolution of texture and porosity

- Pas d'orniérage : celui-ci est à la limite du mesurable (2 mm pour les deux techniques), sauf sur les sections à forte déflexion (> 120 centièmes de mm), où des déformations de 8 à 10 mm sont observées, du fait des déformations du support.

- Les fissures fines et maillées, présentes sur la structure bitumineuse, se redessinent, sur les deux sections en BBTM, mais après plus de 1 million de chargements, pour une déflexion inférieure à 80 centièmes. En revanche, elles apparaissent très rapidement, après 100 000 chargements, sur les points singuliers à déflexion supérieure. En fin d'essai, il n'y a pas eu de remontée de fissures sur les structures inverses. La figure 1 illustre les fissurations relevées.

- La microtexture et l'adhérence basse vitesse suivent des tendances comparables à celles des BBDr : décapage du film de bitume, remontée de l'adhérence, diminution par usure des gravillons, stabilisation à un niveau cependant supérieur aux BBDr, forte influence de la résistance à l'usure des gravillons dans le résultat final.

- La macrotexture reste forte et la drainabilité superficielle s'améliore rapidement, pour doubler par rapport à l'origine.

C'est de cette expérimentation que sont issues les recommandations d'usage des BBTM que l'on retrouve dans les guides [6], en matière de déformation géométrique (< 1 cm) et de déformabilité sous charge du support (déflexion < 80 et 50 centièmes pour les trafics T2 et T0).

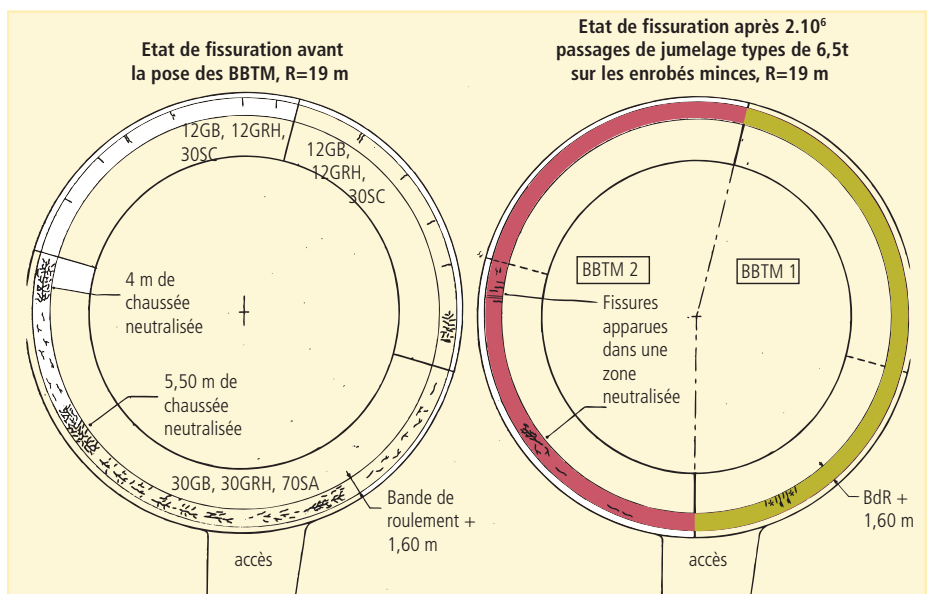


Figure 1

Evolution des fissurations avant (gauche) et après (droite) l'application des BBTM
Extent of cracks before (left) and after (right) the application of very thin asphalt

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

« Ces solutions d'entretien par des BBTM apparaissent comme bien adaptées aux chaussées présentant une fissuration dense sans avoir pour autant perdu leur portance. En conclusion, malgré tout ce que l'on pourrait éventuellement dire sur les biais apportés par le manège de fatigue pour ces types d'essais, il est certain que les deux BBTM ont un comportement satisfaisant, sous trafic intense et, qu'en tout cas, toute insuffisance aurait été mise en évidence par cette expérience. » Cette conclusion, extraite d'un rapport interne, s'avère aujourd'hui extrêmement pertinente, quand on voit le très bon comportement de ces BBTM, qui recouvrent plus de 40 % des chaussées autoroutières, avec un excellent niveau d'adhérence et de confort, pour les formulations plus fines, les BBTM 0/6, présentant par ailleurs des propriétés acoustiques intéressantes.

Les BBTM 0/6 à fine granularité

L'objectif du projet européen *Tire Road Wear and Slip assessment (TROWS)* [7], réalisé en 2002 sur le manège de fatigue des chaussées, était de prévoir l'usure des pneumatiques et des revêtements à partir d'une compréhension des processus d'usure et par le développement d'outils expérimentaux et numériques.

Cette expérience sur le manège s'est déroulée en deux phases : la première s'apparente au suivi d'une chaussée de construction neuve, recouverte par un enrobé épais, 7 cm, constitué par un BBSG 0/14 continu, au bitume pur traditionnel 35/50 ; la seconde correspond à l'application, après fraisage de l'ancien BBSG, de deux sections de BBTM de classe 1 [8] :

- l'un classique, 0/10 discontinu 2/6 (essai presse à cisaillement giratoire (PCG) : 13 et 17 % de vides à 25 girations, pour l'étude et le chantier manège) ;
- l'autre plus fin, 0/6 discontinu 2/4 (étude PCG : 19 et 18 % de vides à 25 girations, pour l'étude et le chantier manège),
- tous les deux sont enrobés par un bitume modifié par des polymères EVA (liant G3, E11).

Les résultats en laboratoire à l'ornièreur LPC sont récapitulés au tableau 3. On note une très bonne stabilité des matériaux sous charges, tant en maintien de la rugosité qu'en déformation et même pour 30 000 cycles avec les BBTM. Cela s'explique par la nature du liant polymère qui confère au mélange bitumineux une faible susceptibilité thermique.

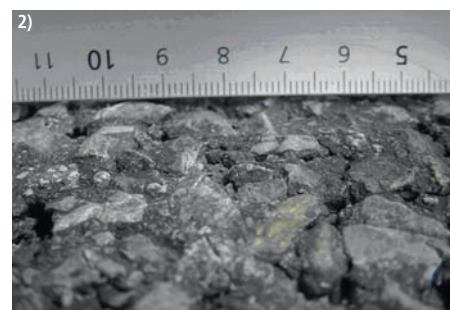
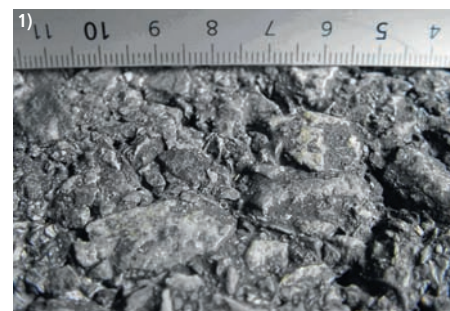
	Epaisseur plaque (mm)	Ornière (%) 3 000 cycles	Ornière (%) 30 000 cycles	Essai à la tache HS (mm)
BBSG 0/14	10	3,4	4,8	1,25
Spécifications		sans	< 5 % (classe 3)	sans
BBTM 0/10	5	4,9	5,9	
BBTM 0/6	5	4,9	6,2	
Spécifications		< 15 % BBTM 0/10 < 20 % BBTM 0/6	sans	sans

Tableau 3
Résultats des tests à l'ornièreur LPC [10]
Results of tests on LPC rutting [10]

Les configurations de chargement (vitesse de 40 à 60 km/h, 200 000 rotations) sur un tandem roue simple (charge/roue de 30 à 37,5 kN) sont spécifiques par la nature des gommes et sculptures (deux nouveautés) et une position d'environnement (- 0,3 à + 0,5 °) des roues, produisant du glissement latéral des pneumatiques. Les incidences sur les caractéristiques des pneumatiques ne sont pas précisées dans le présent article ; on s'attachera à examiner le comportement des matériaux, sous températures très modérées en phase 1 (moyenne 15 °C, étendue 10 à 25 °C) et estivales en phase 2 (moyenne 23 °C, étendue 18 à 55 °C). Il est intéressant de constater des pics de température dépassant les 50 °C, susceptibles de déclencher le seuil de déformation par orniérage.

Le bilan de l'expérimentation a été le suivant :

- Phase 1 : aucun arrachement, désordre, ou déformation (1 à 2 mm, donc non perceptible) subi par le BBSG ; cela apparaît normal compte tenu des températures faibles.
- Phase 2 : quelques arrachements superficiels de gravillons, sur les deux BBTM, en relation avec leur texture négative, ce défaut est cependant très limité. Léger marquage de 3 à 4 mm, par réarrangement granulaire de surface, il ne s'agit pas du tout d'orniérage. La texture du 0/6 présente un aspect plus homogène et les « indenteurs » sont en nombre plus important, ce qui explique la meilleure adhérence des BBTM 0/6 à grande vitesse.
- Il est surprenant de constater la forte macrotexture du BBSG 0/14, qui présente en fin d'expérience le même niveau que le BBTM 0/6 : hauteur au sable (HS) = 0,8 mm, alors que le BBTM 0/10 est plus rugueux, HS = 1,2 mm. On note aussi une très bonne stabilité de cette rugosité au cours du temps. Les photos 1 à 3 illustrent bien cette forte rugosité. On observe, en fin d'expérimentation (photo 4), un décapage important du film de liant sur la trace de roulement, révélant une forte macrotexture des BBTM.



Photos 1 à 3
Détails des surfaces en fin d'essai du BBSG 0/14 (1), du BBTM 0/10 (2) et du BBTM 0/6 (3), après 800 000 passages de tandem à roues simples
Details after tests on semi-coarse asphalt (BBSG 0/14) and very thin asphalts (BBTM 1/10 and BBTM 1/6) after 800,000 passages of single-wheel tandem



Photo 4
Départ du film de liant sur le BBTM 0/6 en fin d'essai
Start of binder film on 0/6 very thin asphalt (BBTM 0/6) at end of test

• L'évaluation de la friction en statique au pendule *SRT*, comme en dynamique basse vitesse au Griptester, montre une décroissance de l'adhérence avec l'usure, nettement moins marquée pour les revêtements BBTM, que pour le BBSG ; cette perte est respectivement de :

- - 40 % pour le BBSG, pour atteindre 0,48 en fin d'essai,
- - 12 % pour le BBTM 0/6, pour atteindre 0,6 en fin d'essai,
- négligeable pour le BBTM 0/10, qui reste à 0,6 en fin d'essai.

Lors des fortes chaleurs et sous l'action du frottement (envirage des roues), il a été remarqué la formation progressive d'un film fin recouvrant la surface des BBTM. La composition de ce film n'a pas été définie. Il pouvait s'agir d'un mélange de gomme et d'autres matériaux d'usure et de poussière de pollution. Ce film était hydrophobe (les gouttelettes d'eau avaient la forme caractéristique des gouttelettes d'huile qui mouillent les surfaces). Ce comportement s'apparentait au phénomène, dit du troisième corps, bien connu par les tribologues. Lors du frottement sec de 2 corps, un troisième se forme progressivement à l'interface et agit comme un lubrifiant, cas correspondant pour partie au verglas d'été rencontré sur les routes à la sortie d'une période longue et sèche. Ce phénomène venait s'ajouter aux effets du lissage des aspérités par l'usure du contact pneu/chaussée.

Les BBTM 0/6 et l'usage de liants modifiés ont prouvé leurs performances et leur bonne durabilité sur le manège de fatigue.

Les enrobés épais pour couches de roulement (formulation)

Les méthodes de caractérisation et les conditions d'usage des matériaux sont variables selon les différents pays. Les méthodes de formulation des enrobés sont le reflet de ces diversités. Elles ont toutes pour but d'évaluer le comportement des matériaux et de définir des compositions adaptées, mais elles diffèrent par les méthodes utilisées : règles empiriques, essais de laboratoire semi-empiriques ou plus fondamentaux. L'objectif commun est de disposer d'une couche bitumineuse répondant à toutes les conditions d'usage sur le terrain.

En 2000, le manège a été choisi pour évaluer l'incidence de différentes méthodes de formulation sur le comportement d'enrobés fabriqués à partir des mêmes constituants.

Quatre enrobés ont été testés en couche de roulement, élaborés selon quatre méthodes de formulation : LCPC (ou méthode française de formulation), LC-MTQ (méthode du Laboratoire des chaussées du ministère des Transports québécois, s'inspirant des méthodes française et américaine), Marshall (méthode traditionnelle américaine et internationale), *SUPERPAVE* (nouvelle méthode américaine). Cette étude a été réalisée avec le concours de W.J. Pine de la société Heritage Research Group, Indianapolis et de P. Langlois du LC-MTQ.

Les désignations, compositions, épaisseurs, et teneurs en bitume (grade commun 50/70 Elf) sont rapportées au tableau 4. Elles correspondent aux contrôles des produits sur le manège. Il existe donc quelques écarts par rapport aux données de l'étude théorique.

Les écarts les plus importants concernent la composition :

- Marshall : moins de mortier que prévu ; sable 0/2 : - 3 %, teneur en bitume : - 0,2 %,
- MTQ : moins de bitume que prévu ; teneur en bitume : - 0,3 %.

Les matériaux s'apparentent à des enrobés denses ou semi-grenus 0/10 continus, pour des épaisseurs de 6 cm. Les granulats sont de deux natures : gravillons 2/6 et 6/10 de La Noubleau (microdiorite), sable broyé 0/2 Cusset (tuf rhyolitique). Ce sable broyé, également utilisé dans les expérimentations manège « orniérage », est destiné à apporter une certaine instabilité à l'orniérage. Les résultats de l'étude de formulation, consignés dans le tableau 5, conduisent à un BBSG de classe 2 [9].

La structure, composée de 35 cm de GB 0/14 classe 3 donc « non déformable », est recouverte par la couche d'enrobés de 5 cm en moyenne. Les rotations ont été réalisées en été (d'août à mi-septembre 2000), à une température moyenne de 32 °C dans l'enrobé à - 2 cm, pour une étendue de 23 à 43 °C pour 90 % des chargements. L'insolation a été forte, ce qui explique les déformations relevées en fin d'essai. Deux types de chargements ont été appliqués : celui correspondant au jumelage français, avec une charge de 6,5 t, appliquée sur 2 bras, au rayon de 19,5 m ; celui correspondant au jumelage utilisé aux Etats-Unis, avec une charge de 4,5 t, appliquée sur les 2 autres bras, au rayon de 17,5 m. Dans les 2 cas, la pression de gonflage des pneumatiques était de 0,85 MPa, soit des pressions au sol de 0,56 et 0,49 MPa. Ces pressions supportées par le sol sont proches, le rapport n'étant que de 1,16 ; cela laissait supposer des profondeurs d'ornières assez voisines, et c'est ce qui a été constaté, comme le montrent les résultats du tableau 6.

Les évolutions des ornières suivent la courbe des températures avec un effet de seuil. Compte tenu des variations d'épaisseur sur les différents secteurs, l'orniérage doit être interprété de la même façon que pour l'essai à l'orniéreur LPC, c'est-à-dire comme un pourcentage d'ornières, rapport de la déformation mesurée à l'épaisseur réelle de la couche.

Planche	Méthode	Type enrobé	Passant 6 mm %	Passant 2 mm %	Passant 0,08 mm %	Bitume %	PCG V 60 girations %	Epaisseurs mm
A	Superpave	Intermédiaire	86	37	6,9	5,7	12	50 / 45
B	LCPC	Semi-grenu	64	33	7,6	5,2	9	54 / 63
C	Marshall	Sableux	72	38	7,4	5,4	6	48 / 50
D	LC MTQ	Intermédiaire	75	33	7,2	5,4	10	44 / 53

Tableau 4

Compositions et épaisseurs des enrobés de l'étude de comparaison des méthodes de formulation
Asphalt compositions and thicknesses from comparison of mix design methods

Composition granulométrique	Bitume 50/70 Péné 63 1/10 mm TBA 48,5 °C	PCG	Orniéreur
6/10 La Noubleau 43,5 %	Dosage : 5,35 %	V 60 = 9,2 %	1 000 cycles 5,0 %
2/6 La Noubleau 26 %	K = 3,53	K = 3,9	30 000 cycles 7,5 %
0/2 Cusset broyé 28 %	K module de richesse	V 200 = 5 %	Classe 2
Fines 2,5 %			Moyen en orniérage

Tableau 5

Composition, résultats des essais PCG et à l'orniéreur sur le BBSG 0/10 de formulation LCPC
Composition, results of gyratory shear compactor and rutter tests on 0/10 semi-coarse asphalt of LCPC design

SUPERPAVE	LCPC	MARSHALL	LC MTQ	Charge (t)	Vitesse (km/h)	Pression sol MPa
10	9,6	10,4	8,7	6,5	47,7	0,56
8	10,7	14,2	9,7	4,5	42,8	0,49

Tableau 6

Profondeurs d'ornières (mm) obtenues sur les différents matériaux en fonction des conditions de chargement
Rut depths (mm) obtained on different materials as a function of loading conditions

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Dans ces conditions, la résistance à l'orniérage est semblable pour les 3 formulations : SUPERPAVE (photo 5), LCPC, LC-MTQ. Seule la formulation Marshall accuse une déformation de 20 à 30 % plus élevée pour les charges européenne et américaine. Ce résultat aurait été encore moins bon si l'on avait respecté plus précisément la composition théorique, plus riche en mortier.



Photo 5
Orniérage du BB (Superpave) après 200 000 chargements de 65 kN
Rutting of asphalt (Superpave) after 200,000 loads of 65 kN

Concernant les charges, dans les conditions du site, on a constaté que l'essieu de 4,5 t provoquait à peu près le même niveau d'ornièrisme que l'essieu de 6,5 t (sauf pour la formule Marshall, plus sensible à la charge de 4,5 t), du fait de l'égalité des pressions de gonflage. La vitesse plus faible de 10 %, sur le rayon concerné par cette charge de 4,5 t, conduisait néanmoins à une augmentation de l'orniérisme, par rapport à la charge de 6,5 t.

Cette expérimentation a été très intéressante car elle a permis de comparer, en vraie grandeur, le comportement d'enrobés réalisés avec différentes méthodes de formulation en laboratoire. Elle a montré la pertinence des nouvelles méthodes de formulation (autres que la méthode Marshall) pour juger de la performance et de la durabilité des couches de roulement, tout du moins en ce qui concerne la résistance à l'orniérisme.

Conclusion

Les expérimentations présentées dans cet article associent des essais en vraie grandeur sur le manège de fatigue de l'IFSTTAR et des essais de caractérisation en laboratoire sur les constituants et les enrobés. Elles permettent de tirer des enseignements très intéressants sur les techniques innovantes des années passées qui sont devenues rapidement, par les expérimentations sur le manège, des techniques opérationnelles et traditionnelles d'aujourd'hui.

Les principales conclusions ont été :

- L'efficacité et la durabilité des techniques de surface, pour les applications sur routes à fort trafic et à grande vitesse, représentées par les BBDr et les BBTM. Ces deux techniques recouvrent presque 50 % des surfaces actuelles des chaussées d'autoroute françaises.
- L'intérêt de la modification des bitumes par des polymères pour accroître la longévité de ces enrobés.
- L'importance des études de formulation en laboratoire, selon les nouvelles méthodes développées aux Etats-Unis et au Québec, et de la méthode de formulation des enrobés, mise au point en France, dans les années 1970, par le réseau des LPC.

Le manège d'essai a été l'outil de validation, à grande échelle, des méthodes françaises de formulation et de dimensionnement des chaussées, et du comportement des matériaux nouveaux aussi bien sur le plan mécanique que sur les aspects de surface. Il a permis de les utiliser dans les meilleures conditions, et d'établir les recommandations sur les domaines et les limites d'emploi, figurant dans les guides techniques. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Huet, A. de Boissoudy, J.-C. Grammsammer, A. Bauduin, J. Samanos, "Expérimentation d'enrobés drainants au manège de fatigue de Nantes", Revue générale des routes et des aéroports (RGRA) n° 652, mai 1988, pages 47-55 www.rgra.fr
- [2] P. Autret, A. de Boissoudy, J.-C. Grammsammer, "Le manège de fatigue, premiers résultats", Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, n° 155, mai-juin 1988
- [3] J.-C. Grammsammer, "Le manège du LCPC et la recherche", Revue générale des routes et des aéroports (RGRA) n° 686, juin 1991 www.rgra.fr
- [4] A. Bauduin, J. Samanos, J.-P. Serfass, "Expérimentation d'enrobés au manège du LCPC", Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 686, juin 1991, pages 37-40 www.rgra.fr
- [5] Chaussées d'autoroute - infos n° 16 - janvier 1989
- [6] "Aide au choix des techniques d'entretien des couches de surfaces des chaussées", Guide technique SETRA, juillet 2003
- [7] M. Tan Do, J.-M. Balay, J.-P. Kerzreho, Y. Brosseau, M. Gothie, "Expérience manège avec pneus de camion", opération de recherche Adhérence, projet européen Tire Road Wear and Slip assessment TROWS, Final report, Carousel tests, octobre 2002, 60 pages
- [8] NF EN 13 108-2 Mélanges bitumineux - spécifications des matériaux - partie 2 : bétons bitumineux très minces, décembre 2006
- [9] NF EN 13 108-1 Mélanges bitumineux - spécifications des matériaux - partie 1 : bétons bitumineux février 2007
- [10] NF EN 12697-22 - 1 Mélanges bitumineux - essais pour enrobés à chaud - partie 22 : ornièrisme septembre 2007



Once upon a time, the durability of innovative bituminous products was tested on the fatigue test track

Yesterday's innovative techniques have become operational today owing to the mobilisation of all road industry players:

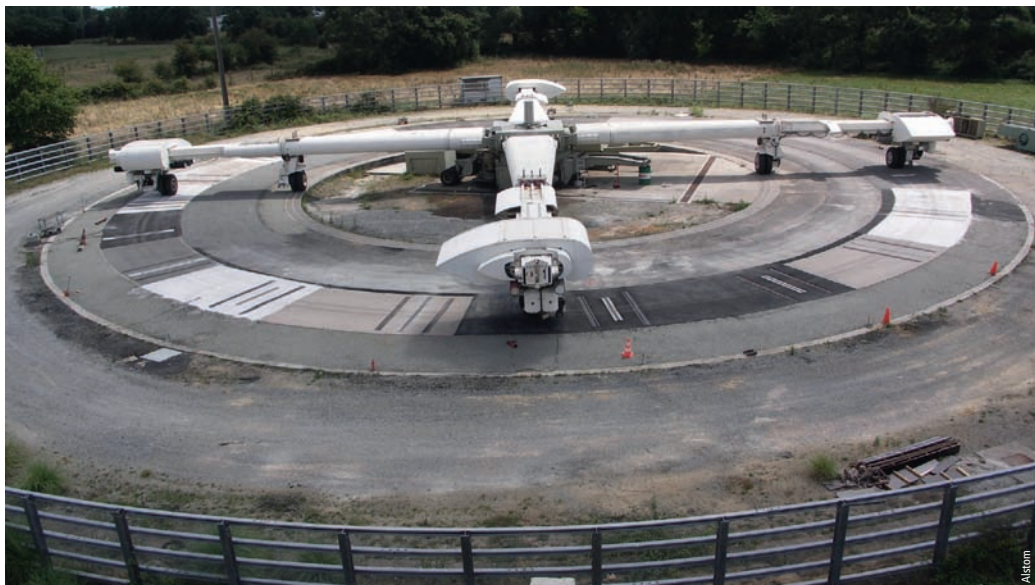
- Contractors developing products and resources as spinoffs from research,
- Owner authorities and prime consultants instituting provisions making it possible to evaluate and compare the value of these innovations (contests, charters, trial worksites, etc.),
- Testing and research laboratories enjoying semi-full-scale testing facilities such as the pavement fatigue test track in Nantes allowing "time acceleration" by the accelerated simulation of processes for the validation of techniques.

This article presents the overall results of tests concerning the development of wearing courses that were new for the period: porous asphalt (French designation BBDr), thin asphalt (French designation BBTM) and especially very thin asphalt (French designation BBTM), with fine gradation mix designs that reduce noise while improving skid resistance. Asphalt mixes emanating from these different mix design methods in wearing course laboratories were subjected to trials at the fatigue test track to compare the relevancy of studies. Durability under traffic and with time remains the major question of engineers for the choice of materials and techniques. The fatigue test track constitutes an interesting and valid response even for wearing courses.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEUR

Thierry Fort
Vice-président Engineering
Transport Global Solutions
Alstom Transport



Le manège de fatigue durant l'essai Alstom
The fatigue test track during the Alstom test

Essai Alstom

Evaluation sous trafic lourd des systèmes d'alimentation des tramways par le sol

Alstom Transport a utilisé le manège de fatigue de l'IFSTTAR [1] entre 2006 et 2007 pour développer une nouvelle génération de rail APS (alimentation par le sol). L'APS est un procédé d'alimentation électrique des tramways s'intégrant dans la chaussée, et visant à remplacer la caténaire (ligne aérienne de contact) qui n'a pas toujours les performances esthétiques demandées en centre-ville historique. Du fait de cette intégration dans la chaussée, le passage en carrefour des poids lourds et autobus provoque des contraintes mécaniques très fortes qui ont nécessité l'utilisation du manège pour comparer 13 solutions différentes, et trouver ainsi l'optimum technico-économique, avec plusieurs revêtements possibles pour s'adapter aux esthétiques urbaines. C'est dans ce cadre que des essais ont été réalisés sur le manège de fatigue de l'IFSTTAR. Au total, 13 configurations de voie en carrefour, combinant différentes structures APS et différents types de revêtement ont été testées sous 1,3 million de passages des charges lourdes du manège de fatigue. Cet article présente les principaux résultats de l'expérience.

Introduction

L'une des préoccupations majeures d'Alstom Transport est de vérifier, avant leur application sur de futurs projets, le bon comportement dans le temps de nouvelles pistes sollicitées par les actions du trafic urbain lourd. C'est l'objet des essais sur le manège de fatigue, qui se sont déroulés d'août 2006 à mai 2007. Sont en particulier concernés, à travers ces tests :

- Le comportement des composants et des assemblages de la voirie tramway, vis-à-vis de leur résistance mécanique en fatigue sous un nombre de cycles de chargement représentatif des conditions d'exploitation les plus sévères couramment rencontrées.

- La résistance des revêtements associés, vis-à-vis des dégradations par orniérage et par fatigue sous les effets du trafic urbain lourd.

- La tenue des interfaces entre ces revêtements et la piste APS, dans les conditions d'installation sur une voie ferrée urbaine de type TSF (tramway standard français) posée sur traverses bi-blocs calées dans du béton.

La mise en place de l'essai

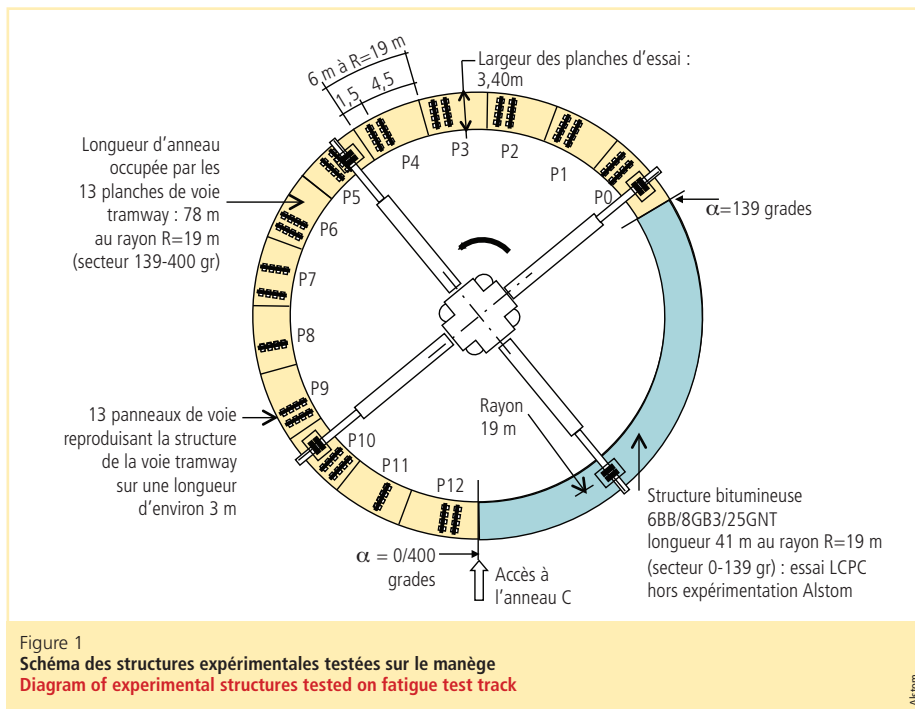
La mise au point du cahier des charges des essais s'est déroulée au premier trimestre 2006. Le deuxième trimestre a été utilisé pour passer la convention avec l'IFSTTAR et pour finaliser le nombre et la

teneur des planches d'essais, produire les plans nécessaires, passer les commandes de matériel, et faire réaliser les travaux de construction par le Département voie ferrée d'Alstom Transport.

Les différentes planches étaient constituées d'éléments APS [2] et des objets associés : revêtements de diverses natures susceptibles d'être mis en œuvre avec ou sans APS, ainsi que plusieurs façons de traiter l'interface entre rail et revêtement (fer plat & joint polyuréthane, joint seul, pas de joint).

L'expérimentation comporte au total 13 planches d'essais (figure 1) de longueur curviligne 6 m au rayon 19 m et de largeur 3,40 m, reproduisant chacune une situation de croisement de la voie tramway par une chaussée.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français



Conditions d'essais

L'expérience Alstom Transport s'est déroulée sur l'anneau C du manège de fatigue. Cet anneau est équipé d'un cuvelage permettant de faire varier la profondeur de la nappe phréatique sous les chaussées. Dans la phase de construction, la nappe a été positionnée à moins 2,20 m de la partie supérieure des chaussées et les rotations ont été effectuées jusqu'à 1,2 million de chargements avec la nappe placée à cette même position. Les 100 000 derniers chargements ont été effectués avec une nappe en position haute à moins 0,70 m afin d'évaluer, sur le comportement des structures, l'incidence d'un état hydrique considéré comme défavorable.

Les trains de roulement placés sur chaque bras du manège sont des roues jumelées type 1200 R20 SP321 gonflés à 0,85 MPa.

Le souhait était d'avoir une température élevée, donc assez défavorable vis-à-vis du comportement à l'orniérage des structures en enrobé. Une météo difficile a retardé le début des essais.

Les planches d'essai sont supportées par une assise rigide en béton, unique pour les 12 planches P1 à P12, et similaire à celle supportant la voie de tramway français standard. La figure 2 schématise la coupe transversale type de cette structure. La surface de chaussée présente un dévers de 2 %, valeur du dévers de la chaussée recouvrant le reste de l'anneau entre les abscisses 0 et 150 grades. La 13^e planche P0 était réservée pour des tests internes à Alstom ne concernant pas les systèmes APS.

Le sol support est le sable limoneux compact constituant le matériau de remplissage du cuvelage de l'anneau du manège.

Les 12 planches P1 à P12 se différencient par l'une et/ou l'autre des dispositions suivantes :

1. Constitution de la longrine (béton armé, béton de résine ou polyester armé),
2. Type de section (conductrice courante, isolante avec ou sans boîtier de raccordement) et,
3. Type de revêtement routier (béton bitumineux BBSG anti-orniérant, BBDr percolé au coulis de ciment, béton désactivé teinté ou béton imprimé teinté et pavés) (tableau 1).

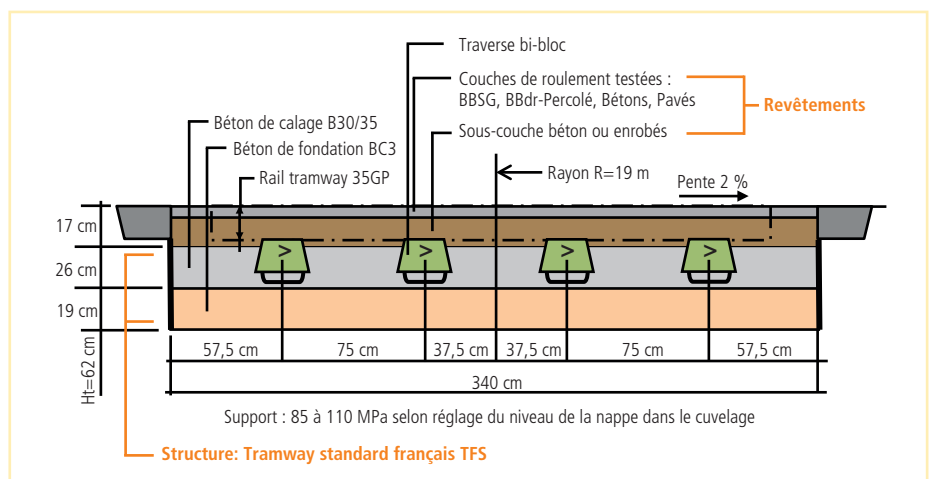


Figure 2
Coupe transversale type des planches expérimentales

	Type APS et rail d'alimentation	Voisinage du rail de roulement
P0	Pas d'APS	Rail isolant - plat - 3,5 cm BBSG
P1	Poutre béton - rail métallique	Rail - isolant - plat - pavés
P2	Poutre béton - partie isolante recevant le patin	Rail - isolant - pas de plat - 4 cm BB percolé
P3	Poutre béton - partie isolante recevant le patin	Rail - isolant - pas de plat - pavés
P4	Poutre béton - rail métallique	Rail - isolant - pas de plat - 16 cm béton
P5	Poutre béton - partie isolante recevant le patin	Rail - isolant - plat - 16 cm enrobé
P6	Poutre béton - partie isolante recevant le patin	Rail - isolant - plat - 16 cm béton
P7	Poutre ACO - partie isolante recevant le patin	Rail - isolant - pas de plat - 4 cm BB percolé
P8	Poutre béton - deux rails métalliques	Rail - isolant - plat - 16 cm béton
P9	Poutre ACO + boîtier raccordement + partie isolante recevant le patin	Rail - isolant - plat - 4 cm BBSG
P10	Poutre ACO - partie isolante recevant le patin	Rail - 4 cm BBSG
P11	Poutre béton + rail en inox	Rail - isolant - plat - 16 cm béton
P12	Poutre béton - rail métallique	Rail - 3,5 cm BB percolé

Tableau 1
Récapitulatif des différentes configurations des planches d'essais APS
Summary of different configurations of APS test sections

Sur deux bras, les jumelages circulent au rayon de 19 m, sur le troisième bras, le rayon de roulement est de 19,10 m et sur le dernier, le rayon de rotation est de 18,90 m. Cette position des trains de roulement donne une distribution du trafic proche de la réalité (faible balayage transversal du trafic poids lourd et bus en milieu urbain).

Les 11 000 premiers chargements ont eu lieu à une charge de 45 kN, les 35 000 suivants étaient de 55 kN et la fin des chargements a été effectuée à 65 kN jusqu'au terme de l'expérience à 1,3 million de chargements. La vitesse du manège est de 6 tours par minute durant toute l'expérience, soit 43 km/h.

Les 40 000 premiers chargements ont eu lieu les après-midi entre le 15 août et le 6 septembre 2006 lorsque la température de la partie supérieure des enrobés était supérieure à 30 °C. Les températures moyennes sur les 5 premiers centimètres dans les enrobés sont présentées sur la figure 3.

La plupart des rotations du manège ont été effectuées lorsque les températures moyennes, sur 0-5 cm dans l'enrobé, étaient comprises entre 10 et 30 °C. Environ 8 % des rotations ont été réalisées avec une température moyenne supérieure à 30 °C sur les 5 premiers centimètres d'enrobé. L'essai est donc représentatif des conditions d'orniérage supportées par les chaussées urbaines.

Déroulement des essais

Conformément au programme mis au point avec le LCPC, les essais se sont déroulés en plusieurs phases :

1. Test préliminaire à vitesse réduite, à 45 kN sur le train jumelé ;
2. Test jusqu'à 10 000 charges appliquées à vitesse normale (43 km/h) ;
3. Test avec mise en charge progressive à 55 kN, application 10 000 charges à vitesse nominale ;
4. Test avec mise en charge à 65 kN, début de l'essai à charge et vitesse nominale.

Périodiquement, des enregistrements au transverso-profilographe sont effectués (pour la mesure des déformations verticales de la surface des différents revêtements), ainsi que des mesures à la règle et des relevés des évolutions de l'état des différents éléments : rails, composants APS et revêtements. En complément, des prises de vues ont été réalisées par le LCPC ainsi que par les représentants Alstom.

En début d'expérience et à quelques états de trafic, une mesure de profil en long a pu être effectuée au moyen du MLPL (multi profilomètre longitudinal) [3], appareil muni de 3 capteurs laser permettant de relever le profil en long de la partie supérieure d'une chaussée avec un pas de 2 mm.

Le profil en long a été réalisé sur tout le développé de l'anneau. Celui de la planche 5 est présenté figure 4.

Suivent des mesures d'accélération verticales sur une roue du manège (figure 5).

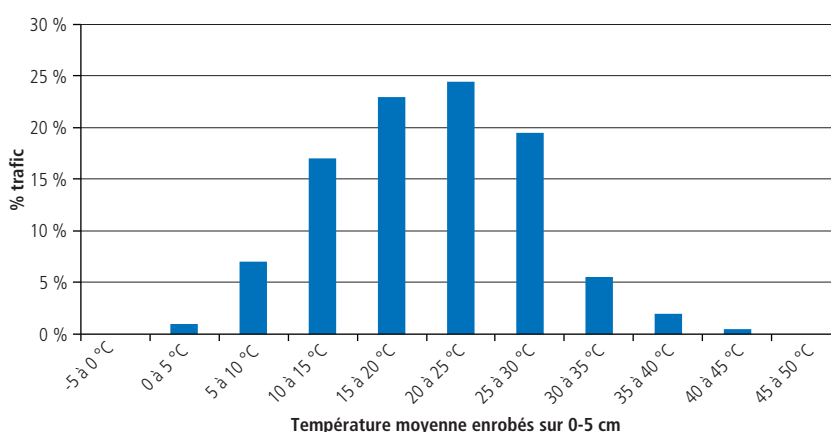


Figure 3
Températures moyennes sur 0-5 cm dans les enrobés
Average temperatures on 0-5 cm in the asphalt

Alstom

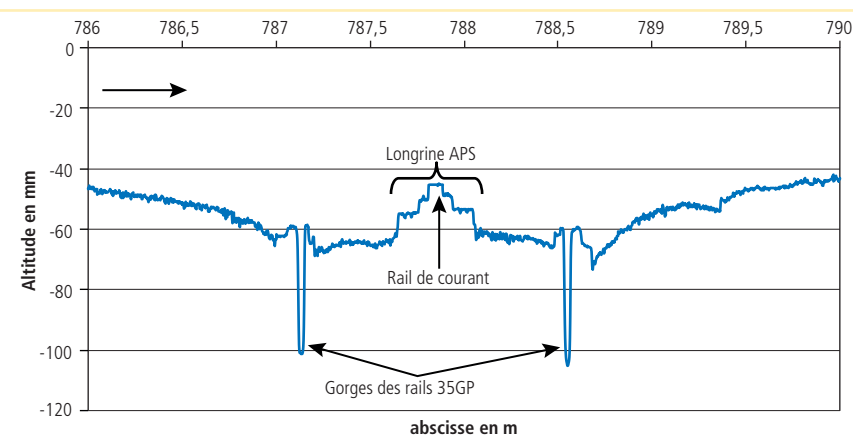


Figure 4
Enregistrement de profil en long au rayon 19 m (P5 : 5 BBSG + 5 EME + 5 GB)
Recording of longitudinal profile at 19 m radius (P5 : 5 BBSG + 5 EME + 5 GB)

Alstom

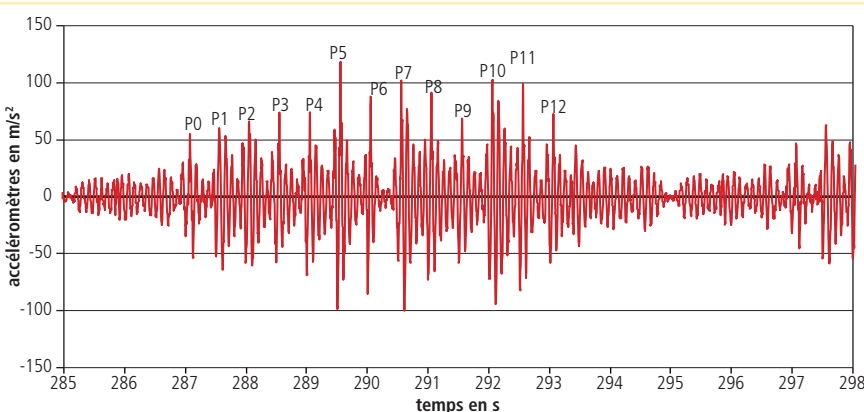


Figure 5
Accélération verticale au niveau des 13 planches d'essais APS (v = 43 km/h), accéléromètre placé sur la fusée de la roue
Vertical acceleration at level of the 13 APS test sections (v = 43 km/h), accelerometer placed on wheel stub axle

Alstom

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Lorsque le manège est en rotation, les bras restent horizontaux malgré les accélérations de 10 G et la qualité de l'uni. La suspension du train de roulement principal a une faible raideur et permet aux roues de suivre les dénivelés de la piste, sans que les bras se soulèvent, et de conserver la charge au plus près de 65 kN.

Examen des planches

Lors des premiers roulages, les planches équipées de pavés ont rapidement cédé sous la pression des roues (photo 1). Ces planches ont été reprises et les pavés ont été remplacés par un béton fibré.

Les autres planches ont subi les tests jusqu'à leur terme avec des niveaux de dégradation variables des revêtements (photos 2 à 4).

L'enrobé percolé orniéra 2 à 3 fois moins qu'un enrobé usuel, et l'orniéage a été d'autant moindre que l'épaisseur du béton bitumineux était faible.

Pour les autres structures en béton de remplissage, les planches n'ont pas subi de dégradations particulières.

La tenue des planches en pavés ne dépasse pas 200 000 chargements ; elles offrent un piètre niveau de service lorsqu'elles sont circulées par les poids lourds. Ces essais ont donc été l'occasion pour Alstom d'accroître son expertise sur l'emploi des revêtements sur voie ferrée de tramway, et sur l'interface rail/revêtement en site routier.

Démantèlement

A la fin des essais en mai 2007, après 1,3 million de chargements, a démarré la phase de démantèlement et d'analyse des composants des différentes planches (photos 5 à 7). Cela a permis de conduire des inspections visuelles sur les revêtements et les composants des solutions APS et d'apprécier leur tenue aux sollicitations de roulage.

Des carottages ont aussi été effectués sur les revêtements avant destruction pour s'assurer de leur bonne mise en œuvre et bonne tenue (photo 8).



Photo 1
Poutre béton rail métallique revêtement en pavés endommagé
Concrete beam, steel rail, paver surfacing damaged



Photo 2
Poutre béton rail métallique revêtement béton
Concrete beam, steel rail, concrete surfacing

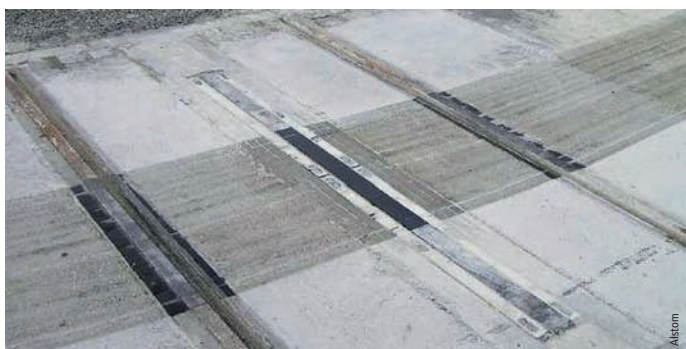


Photo 3
Poutre béton profil plastique revêtement béton
Concrete beam, plastic sectional, concrete surfacing



Photo 4
Poutre béton rail isolant revêtement BB percolé orniéré
Concrete beam, insulating rail, percolated and rutted asphalt surfacing



Photo 5
Poutre béton de résine
Resin concrete beam



Photo 6
Poutre béton
Concrete beam



Photo 7
Poutre béton rail acier
Concrete beam, steel rail

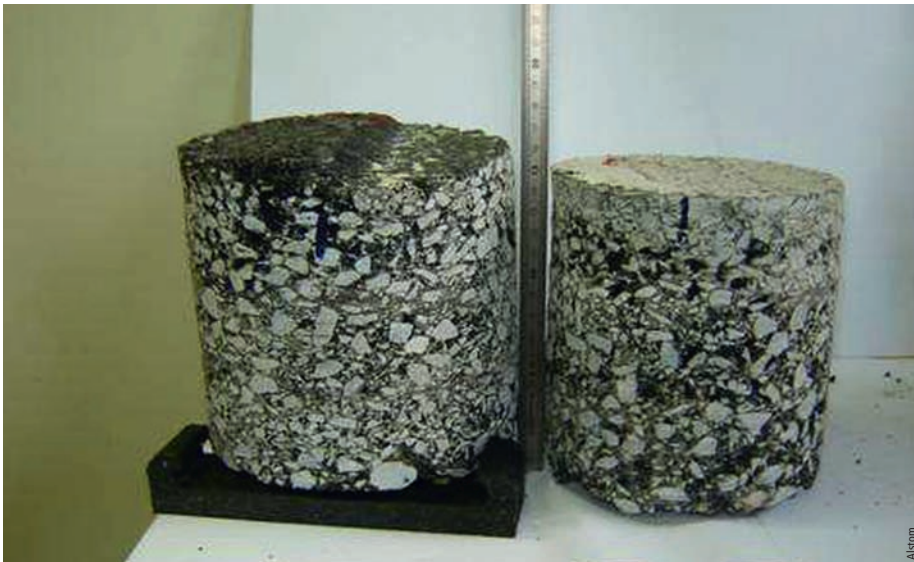


Photo 8
Carottages de revêtements
Core samples of surfacing

Conclusion

Les différentes solutions testées ont globalement donné satisfaction, notamment par leur tenue mécanique. Certaines ont toutefois été écartées par leur comportement au niveau des interfaces avec le sol et l'environnement (eau, chaleur, ...). Le choix de la solution à retenir devra donc se faire également par des tests complémentaires (électriques, ...), sa facilité d'installation, les possibilités d'industrialisation et bien évidemment les paramètres économiques.

L'intérêt du manège est d'avoir pu tester dans des conditions proches de la réalité des configurations différentes sans avoir à les expérimenter sur des réseaux en exploitation. En termes de flexibilité, le banc d'essai a permis d'examiner non seulement les configurations définies initialement mais aussi de nouvelles configurations sans avoir les contraintes d'un exploitant, dans le cas d'un essai en situation sur un réseau circulé.

La proximité des experts de l'IFSTTAR a également contribué à l'efficacité des tests par leurs présences près du site.

Cette expérience a amélioré notablement la connaissance des phénomènes à l'interface entre l'infrastructure au sol du système APS mais a permis de spécifier plus précisément les exigences exportées au concepteur - constructeur de la voirie. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <http://35sans-manege.ifsttar.fr/docs/Plaquette-manegeV1.pdf>
- [2] <http://www.alstom.com/transport/fr/produits-et-services/trains/tramways-citadis/Animation-3D-APS-VF/>
- [3] http://media.lcpc.fr/ext/pdf/sem/2007_jtuni-5-02.pdf



Alstom test Evaluation under heavy traffic of in-ground power supply systems for tramways

Alstom Transport used the IFSTTAR [1] fatigue test track between 2006 and 2007 for the development of a new-generation of in-ground power supply (APS) rails. The APS is an electric power supply system placed in-ground for tramways and designed to replace the catenary (overhead contact line) which still lacks the aesthetic features demanded in historic town centres. Owing to this incorporation in the pavement, the passage of lorries and buses at intersections causes very strong mechanical stresses which have required the use of the test track to compare 13 different solutions and thus find the technico-economic optimum with several surfacing possibilities to adapt to urban aesthetics. It is in this connection that tests were carried out on the IFSTTAR fatigue test track. In all, 13 configurations of intersection track configurations combining different APS structures and different types of surfacing were tested under 1.3 million heavy load passages of the fatigue test track. This article presents the main results of this evaluation testing.

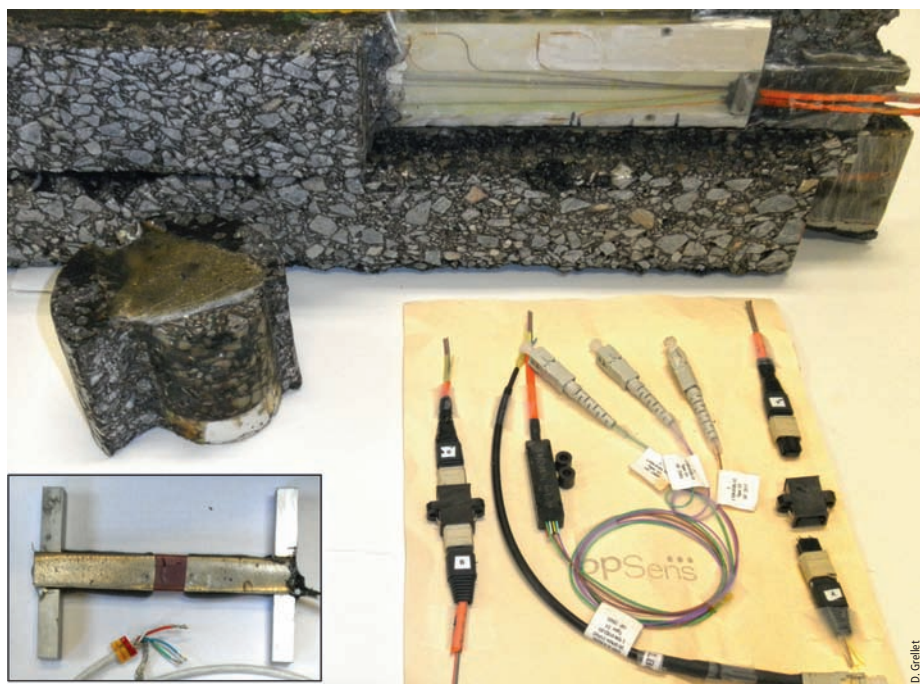
Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEURS

Damien Grellet
Etudiant au doctorat
Chaire i3c⁽¹⁾
Université Laval
(Québec, Canada)

Guy Doré
Ing. PhD., professeur
Titulaire de la chaire i3c
Université Laval
(Québec, Canada)

⁽¹⁾Chaire de recherche industrielle du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) du Canada sur l'interaction Charges lourdes – Climat – Chaussées (chaire i3c)



Systèmes pour mesures d'extensométrie

Instrumentation en partie haute des chaussées Nouveaux enseignements



La détérioration d'une chaussée, par l'action combinée des charges lourdes et du climat, se caractérise, entre autres, par de la fissuration et l'apparition d'ornières en surface. L'endommagement s'exerçant proche de la surface reste peu étudié par la difficulté à obtenir expérimentalement les déformations à ce niveau.

Au cours de ce projet de doctorat, deux types d'instrumentation, basés sur des capteurs à fibres optiques, ont été développés pour analyser les déformations dans l'ensemble de la couche de revêtement. La mise en place dans la chaussée, de carottes et de plaques instrumentées, permet l'acquisition des déformations longitudinales, transversales et verticales dans les premiers centimètres de la couche, au bas de celle-ci mais aussi aux interfaces entre les couches. Plusieurs campagnes de mesure, sur deux structures de chaussées souples, ont été effectuées au manège de fatigue de l'IFSTTAR à Nantes. Pour toutes les conditions étudiées, la zone d'influence des déformations s'exerçant sous le pneu est mesurée et analysée, ce qui permet une meilleure caractérisation du comportement mécanique des couches bitumineuses.

Introduction

La détérioration des chaussées souples, par l'action des charges lourdes, se caractérise principalement par du fluage en surface, de la fissuration de fatigue et de l'orniérage au niveau des couches granulaires et du sol. Le mode d'endommagement pour une structure de chaussée dépend des conditions de charges et climatiques qu'elle va supporter au cours de son exploitation. Sous les sollicitations répétées du trafic, la fissuration peut s'initier au bas de la couche d'enrobé bitumineux et remonter vers la surface ou s'initier dans les premiers centimètres sous la surface

de la chaussée et se propager dans l'ensemble de la couche (*top-down cracking*). Les calculs de dimensionnement obtenus par les méthodes mécanistes-empiriques proviennent de modélisations. Ces résultats doivent être validés par des mesures effectuées sur des structures soumises à des charges réelles. Prévoir le comportement d'une chaussée repose donc sur une connaissance expérimentale de la répartition des déformations, dans la structure, sous une sollicitation et un climat donnés.

L'instrumentation

Depuis plusieurs années, des jauges d'extensométrie résistives existent et mesurent la déformation au bas d'une couche bitumineuse. Ces capteurs en H sont présentés à la photo 1. Cette instrumentation peut être mise en place dès la pose du revêtement bitumineux ou dans certain cas, après la construction de la chaussée. L'université Laval (chaire i3c, Québec, Canada), en collaboration avec la société canadienne Opsens, a mis au point deux types d'instrumentation à fibre optique pour l'acquisition des déformations s'exerçant à différentes profondeurs dans la couche bitumineuse.

Les capteurs optiques utilisés sont composés de deux fibres optiques parfaitement alignées à l'intérieur d'un micro capillaire de verre, formant ainsi un interféromètre optique en lumière blanche de type Fabry-Pérot. Un interféromètre de type Fabry-Pérot réalise un système d'interférences à ondes multiples par l'intermédiaire de deux miroirs formant une cavité de longueur donnée. Le revêtement de cette fibre optique, ainsi que leur protection, garantit un fonctionnement pour des températures comprises de - 40 °C à 250 °C. Les principaux avantages de ces capteurs, comparativement à ceux de type réseaux de Bragg, sont leur insensibilité aux déformations transverses ainsi qu'à la température. Un réseau de Bragg est un tronçon de fibre optique dont le cœur de la fibre présente une ou plusieurs modulations périodiques de l'indice de réfraction.

Le premier type d'instrumentation (photo 1) est une carotte d'enrobé bitumineux sur laquelle deux capteurs à fibre optique sont installés en croisillon : l'acquisition des déformations est opérée dans le sens longitudinal (ϵ_{xx}) et transversal (ϵ_{yy}) au roulement de la charge. Les deux capteurs sont placés dans un corps polymère et fixés sur une carotte conditionnée à cet effet. Initialement, la carotte d'enrobé est prélevée sur le site expérimental puis usinée, instrumentée, calibrée et finalement scellée en place à l'aide de colle époxy. Cette instrumentation est mise en place après la construction de la chaussée. Les matériaux utilisés sont donc identiques à ceux en place, ce qui assure une bonne continuité dans la couche de revêtement et réduit ainsi l'impact du capteur. Cette technique permet d'atteindre un très bon taux de survie à l'installation, puisque contrairement aux jauges d'extensiométrie classiques qui sont installées lors de la construction de la chaussée, les capteurs optiques ne subissent ni les efforts thermiques imposés par l'enrobé, ni les efforts imposés par le compacteur.



Photo 1
Instrumentation au bas de la couche de revêtement
Instrumentation at bottom of wearing course

La seconde instrumentation (photo 2) se compose d'une plaque polymère ayant un comportement mécanique et thermique proche de celui de l'enrobé bitumineux. Épaisse de seulement un demi-centimètre, elle est mise en place, transversalement au sens de roulement, dans une rainure réalisée par un trait de scie dans la chaussée. Ces plaques sont fabriquées sur mesure et instrumentées pour chaque campagne expérimentale en fonction des objectifs de l'étude. Dans le cadre d'une collaboration entre l'Université Laval et l'IFSTTAR, deux structures de chaussée ont été étudiées à l'aide de ces capteurs à fibre optique.

La photo 2 présente les deux plaques ayant servi lors des essais. Sur cette figure, trois séries de capteurs apparaissent :

- Une première série de capteurs à fibre optique a été installée à 15 mm de la surface (plaque supérieure) afin d'obtenir les déformations verticales (ϵ_{zz}) et transversales (ϵ_{yy}) au plus proche du contact pneu-chaussée.

- Une deuxième série de capteurs a été implantée à 5 mm du bas de la plaque supérieure et à 5 mm du haut de la plaque inférieure. Ainsi placés, ces capteurs analysent la transmission des déformations transversales s'opérant au niveau de l'interface entre les deux couches bitumineuses.

- Une troisième série de capteurs a été implantée à 10 mm du bas de la plaque inférieure, dans le sens transversal au roulement, afin d'obtenir les déformations au bas de la couche de béton bitumineux. La figure 1 présente l'une des structures de chaussées étudiées lors d'essais effectués au manège de fatigue à l'IFSTTAR. La chaussée est constituée de deux couches d'enrobé bitumineux, surmontant une fondation granulaire de 300 mm en GNT 0/31,5 mm et un sol d'infrastructure en sable argileux. Comme présenté sur la figure 1, deux carottes instrumentées, deux plaques de déformations ainsi que des jauges d'extensiométrie classiques y ont été installées.

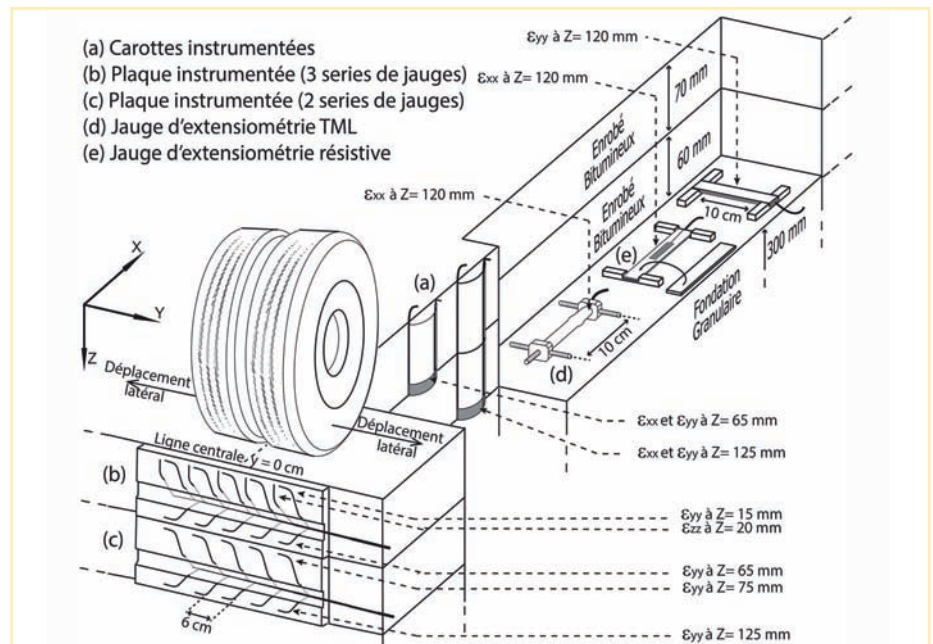


Figure 1
Schéma de l'instrumentation utilisée sur une structure du manège de fatigue
Diagram of instrumentation used on a structure of the fatigue test track

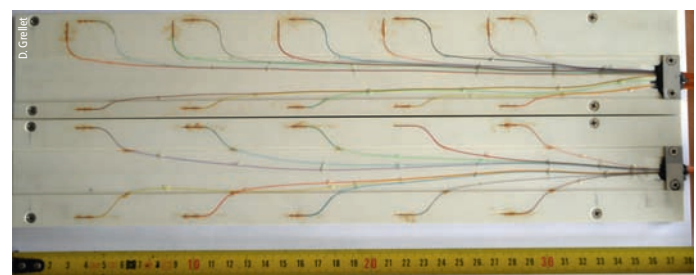


Photo 2
Deux plaques instrumentées de fibre optique
Two optical fibre instrumented plates

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Ce dispositif mesure les déformations suivant plusieurs directions proches de la surface, de part et d'autre de l'interface entre les couches de revêtement, ainsi qu'au bas des deux couches bitumineuses.

Les résultats expérimentaux

Afin d'évaluer l'influence de la vitesse du véhicule, de son chargement, du type de pneu et des pressions de gonflage utilisées, plusieurs campagnes de mesure ont été effectuées au manège de fatigue sous deux températures. La photo 3 représente le passage de la roue sur les capteurs en place dans la structure. Seuls les résultats pour un chargement de 6,5 tonnes sur un pneu jumelé, à une vitesse de 40 km/h sous des températures de 20 °C et de 40 °C sont ici présentés. Pour ces deux conditions expérimentales, les signaux sont analysés et l'amplitude maximale de la déformation est relevée. Selon la position sous le pneu, cette amplitude va varier.



Photo 3
Passage de la roue jumelée d'un bras du manège de fatigue sur les capteurs
Passage of dual wheels over sensors

Comme illustré à la figure 2, il est possible de regrouper ces données avec en abscisse la position sous le pneu jumelé et en ordonnée les déformations (en micro). L'abscisse zéro correspond au centre du jumelage. Une valeur négative des déformations signifie que l'enrobé bitumineux est en contraction. Une valeur positive signifie qu'il est en extension. La figure 2 présente les déformations transversales (ϵ_{yy}) à la profondeur de 125 mm, c'est-à-dire au bas de la deuxième couche d'enrobé bitumineux. La forme du bassin est la même à 20 °C et à 40 °C. Seules les amplitudes seront supérieures pour les températures chaudes.

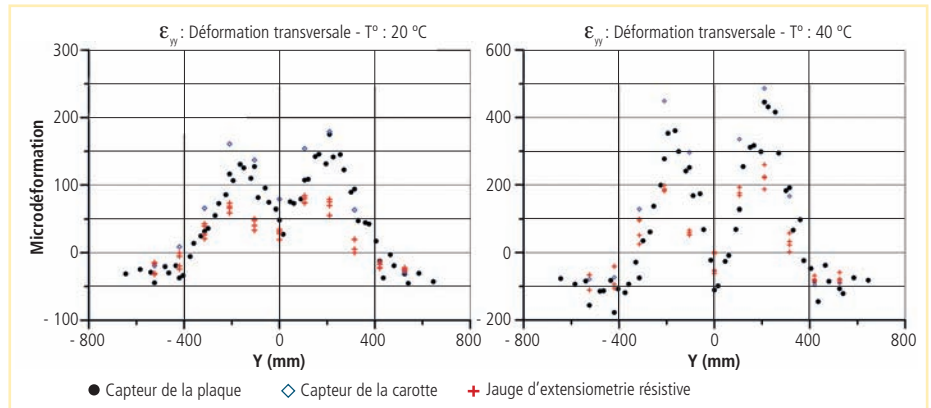


Figure 2
Bassin des déformations transversales à Z = 125 mm pour 20 °C et 40 °C
Transverse deformation basin at Z = 125 mm for 20 °C and 40 °C

D. Grellet

Sur les graphiques de la figure 2, les données obtenues par la plaque instrumentée, sont comparées aux données obtenues par la carotte et par les jauges d'extensiométrie classique. Les amplitudes relevées par les capteurs à fibre optique sont en général plus élevées que celles relevées avec les systèmes résistifs. L'ensemble des points de mesure reste cependant dans le même nuage de points caractérisant ainsi le bassin des déformations. Ces courbes mettent en avant que ces trois méthodes de mesure distinctes permettent de mesurer l'extension s'exerçant sous les deux pneus du jumelé (en $y = -200$ mm et $y = 200$ mm) ainsi que la contraction à l'extérieur des pneus. Pour des températures élevées,

l'entre-jumelage impose une contraction identifiable en $y = 0$ mm et cela, avec les trois méthodes de mesure. Les écarts relevés peuvent s'expliquer par la précision lors de la pose des capteurs. Les capteurs résistifs peuvent être amenés à se déplacer légèrement lors du compactage et n'être ainsi plus parfaitement horizontaux. Cela a pour effet de modifier l'amplitude maximale mesurée. De même, le carottage et le sciage de la chaussée doivent être précis pour assurer une bonne orientation des jauges. La plaque instrumentée permet d'obtenir le bassin des déformations transversales et verticales à la profondeur de 15 mm. Ces données sont illustrées sur la figure 3 pour les deux températures de 20 °C et 40 °C.

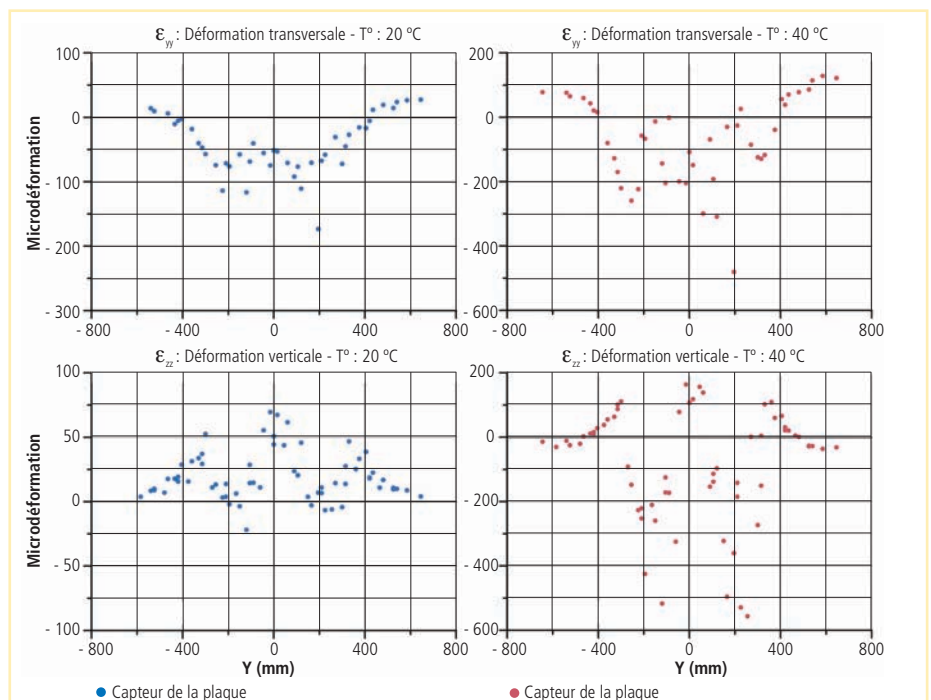


Figure 3
Bassin des déformations transversales et verticales à Z = 15 mm pour 20 °C et 40 °C
Transverse and vertical deformations at Z = 15 mm for 20 °C and 40 °C

D. Grellet

Le comportement de la structure est le même aux deux températures, seules les amplitudes de la déformation seront plus importantes à 40 °C. A cette profondeur, la géométrie du pneu et ses rainures jouent un rôle important sur les déformations. Cela explique la dispersion des points de mesure directement sous les deux pneus du jumelé. Cet effet est particulièrement marqué lorsque la température augmente. Les propriétés mécaniques de l'enrobé bitumineux diffèrent considérablement entre 20 °C et 40 °C. Les déformations verticales illustrent bien cette influence de la température. A 20 °C, les déformations sont de signes positifs, alors qu'à 40 °C les déformations sont négatives sous le pneu. A 20 °C, bien que le pneu impose une contrainte verticale très forte (compression), la fibre est en extension. Les contraintes longitudinales et transversales imposent, par effet du coefficient de Poisson, une extension verticale proche de la surface. Cet effet est particulièrement observable à l'extérieur des empreintes des pneus et à l'entre-jumelage. A 40 °C, le module du revêtement étant plus faible, cet effet n'apparaît plus sous les pneus mais uniquement à l'extérieur des pneus. Les deux plaques de déformation fixées dans la chaussée permettent de caractériser les déformations transversales à 5 mm de part et d'autre de l'interface. Celle-ci est située à 70 mm de profondeur entre les deux couches bitumineuses.

La figure 4 présente le bassin de déformation à 65 mm de profondeur et à 75 mm de profondeur pour les deux températures de 20 °C et 40 °C. Le comportement d'une interface est complexe et fortement dépendant de la température des couches bitumineuses. Pour les deux températures, le bas de la couche supérieure présente une extension sous le pneu, alors que le haut de la couche inférieure présente une contraction. L'analyse des données obtenues à l'interface est toujours à l'étude et plusieurs modélisations numériques du problème sont en développement. Les premiers résultats tendent à montrer que ce système bicouche agirait comme un système tricouche. L'interface entre les deux couches agirait comme une couche très mince (1 à 2 mm) ayant les propriétés mécaniques du bitume. Ce modèle reste à être validé grâce aux autres mesures effectuées sous des chargements et des vitesses différentes.

Conclusion

Les capteurs à fibre optique mis en place après la construction de la chaussée permettent une bonne caractérisation des déformations au bas de la couche du revêtement bitumineux ainsi que proche de la surface et au niveau des interfaces.



Instrumentation in upper part of pavements New teachings

Pavement damage by the combined action of heavy loads and climate is characterised, among other things, by cracking and the appearance of ruts on the surface. Damage occurring near the surface has been granted little study owing to the difficulty of obtaining experimentally the deformations at this level. During this doctorate project, two types of instrumentation based on fibre-optic sensors were developed to analyse deformations in the entire surface layer. The placing of core samplers and instrumented plates in the pavement allows the acquisition of longitudinal, transverse and vertical deformation data in the first centimetres of the surface course, and under it but also at the interfaces between courses. Several measurement campaigns, on two flexible pavement structures, were carried out on the IFSTTAR fatigue test track in Nantes. For all the conditions studied, the deformation basin occurring under the tyre is measured and analysed, thus allowing better characterisation of the mechanical behaviour of bituminous layers.

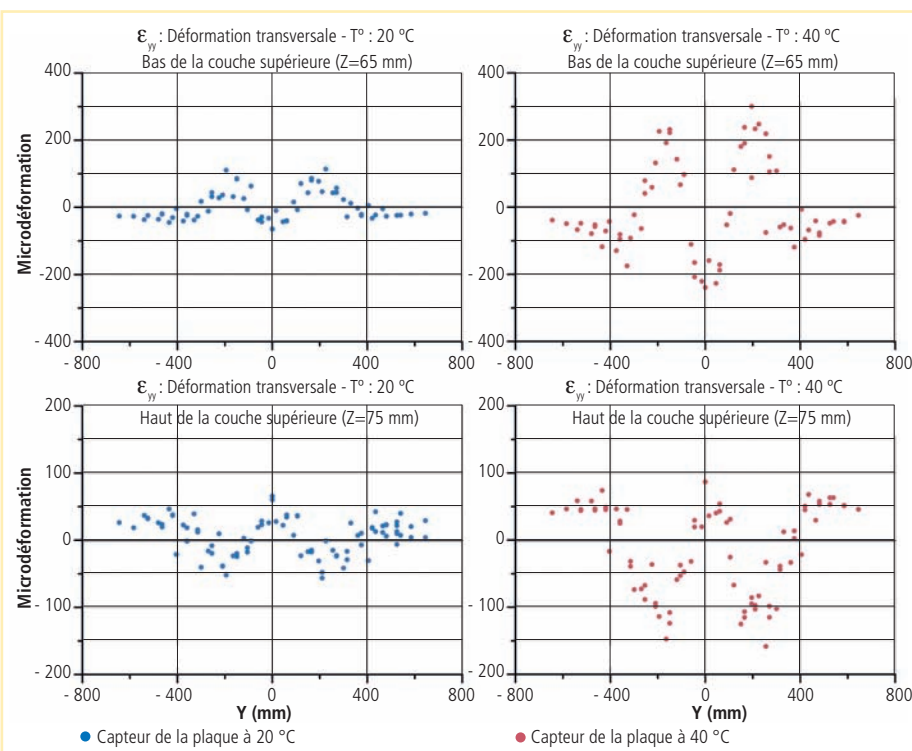


Figure 4
Bassin des déformations transversales de part et d'autre de l'interface entre deux couches bitumineuses pour 20 °C et 40 °C
Transverse deformation basin on each side of interface between two bituminous courses for 20 °C and 40 °C

D. Grellet

L'ensemble des mesures montre une influence marquée de la température sur le comportement mécanique de la structure et en particulier au niveau de l'interface. Proche de la surface, les sollicitations induites par les pneus sont complexes et fortement dépendantes des conditions de contact entre le pneu et la chaussée. L'ensemble de ces données permettront de déterminer des critères d'endommagement spécifiques à chaque mode de sollicitation de l'enrobé bitumineux. ■

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEURS

Pierre Hornych
Responsable
Laboratoire auscultation, modélisation,
expérimentation des infrastructures
de transports (LAMES)
IFSTTAR

Jean-Michel Piau
Ingénieur - chercheur
LAMES
IFSTTAR

Jean-Pierre Kerzrého
Ingénieur - chercheur
LAMES
IFSTTAR



Essai de fatigue sur chaussées bitumineuses

Bilan de l'utilisation du manège et perspectives



Cet article présente un rapide panorama des expérimentations réalisées sur le manège de fatigue, et quelques enseignements principaux qui en ont été tirés, concernant les différentes techniques étudiées, la représentativité et l'exploitation des résultats des essais accélérés. En conclusion, de nouvelles pistes d'utilisation de cet équipement dans les années à venir sont proposées.

Introduction

En près de 30 ans d'utilisation, le manège de fatigue a réalisé près de 56 millions de chargements (14 millions de rotations) et testé quelque 130 structures de chaussées de types et d'épaisseurs différentes. Nombre d'expérimentations ont fait l'objet d'articles de la RGRA, sans compter ceux de ce numéro spécial.

On tire ici un bref bilan de ces études, en trois rubriques :

- l'intérêt des essais accélérés sur chaussée et les spécificités du manège ;
- le panorama des matériaux et structures testés sur manège ;
- le pointage de quelques enseignements ou confirmations marquants, tirés de ces essais et intégrés au fur et à mesure à la doctrine routière.

Ce bilan est complété par quelques perspectives d'utilisation du manège en lien avec les préoccupations de la profession routière et les thématiques de recherche du domaine.

Avantages et limites des essais accélérés sur manège

Spécificités et avantages du manège

Au cours de leur durée de vie, les chaussées sont soumises à des sollicitations multiples (trafic, environnement) ; leur durabilité et leurs mécanismes de dégradation restent difficiles à prévoir et modéliser. Les essais de laboratoire fournissent des enseignements précieux sur les propriétés des matériaux mais ne permettent guère encore d'extrapoler le comportement en vraie grandeur des structures routières multicouches. Les expérimentations sur sections d'essai ouvertes au trafic répondent en partie à la question, en fonction des efforts déployés pour leur instrumentation et leur suivi, mais ne permettent pas de se projeter dans le temps. Les essais accélérés en vraie grandeur restent donc un moyen privilégié pour évaluer la tenue sous trafic des matériaux et structures, identifier leurs mécanismes de dégradation et valider leur dimensionnement.

L'utilisation de ces essais ne cesse de croître et il existe aujourd'hui environ 40 installations d'essais accélérés dans le monde ; d'autres continuent à se construire, notamment dans les pays émergents. Parmi celles-ci, le manège de fatigue de l'IFSTTAR reste l'une des plus importantes et se distingue par plusieurs caractéristiques.

• **Sa forme circulaire et sa motorisation puissante** : il atteint des vitesses de chargement élevées (100 km/h au maximum, et 70 km/h en fonctionnement normal), identiques à celles du trafic routier. Pour les chaussées bitumineuses, cela permet de tester les matériaux à des fréquences réalistes et de respecter les modes de comportement réels.

• **Sa vitesse de rotation et ses dimensions** : elles représentent un bon compromis, autorisant des cadences de chargement élevées. A 70 km/h, les bras du manège appliquent 1 chargement chaque 1,5 seconde. On peut facilement atteindre 500 000 chargements par mois, compte tenu des arrêts pour mesures ou maintenance. On dispose ainsi d'une véritable machine d'endommagement des chaussées, pouvant

réaliser plusieurs millions de chargements. C'est rarement le cas des autres installations. Les accélérateurs linéaires, utilisés dans de nombreux pays, ont une cadence de chargement de l'ordre de 1 toutes les 10 secondes. Typiquement, les essais manège durent 3 à 6 mois, ce qui représente un temps tout à fait raisonnable pour tester des produits innovants.

• **Les dimensions du manège (piste de 120 m de long)** : elles sont suffisantes pour tester plusieurs structures en même temps (souvent 4 structures de 30 m de long), tout en conservant un coût d'expérimentation raisonnable. En général, les expériences comportent une structure « de référence », de comportement connu, par rapport à laquelle on peut comparer, en relatif, les performances des autres structures.

Les dimensions du manège sont aussi suffisantes pour accueillir les vrais matériels de construction routière et tester en conditions réelles, les méthodes de construction et de mise en œuvre des matériaux.

• **Les 4 bras du manège et la largeur de la piste (6 m)** : Ils assurent de nombreuses combinaisons d'essais. Il est possible d'appliquer au cours d'un même essai plusieurs types de charges différentes (essieux simples ou multiples) au même rayon ou à des rayons différents.

• **Enfin, le cuvelage construit sur l'anneau C** : il contrôle les conditions hydriques dans la plate-forme.

A côté de ces spécificités, le manège présente, par rapport aux chantiers expérimentaux, les avantages des essais accélérés, à savoir :

- la capacité d'une instrumentation et d'une auscultation approfondies des chaussées ;
- la maîtrise des charges appliquées (type d'essieu, poids à la roue, vitesse, balayage latéral), et le choix des températures auxquelles on circule, avec la possibilité d'arrêter le chargement à tout moment pour faire des mesures ;
- la possibilité de tester les chaussées jusqu'à leur ruine et de réaliser une autopsie fouillée en fin d'essai (carotages, tranchées, essais destructifs, prélèvement d'échantillons). Cela permet d'analyser plus en détail les mécanismes de dégradation que sur une chaussée en service.

Limites du manège

Les essais sous trafic accéléré et le manège ont toutefois aussi leurs limites.

- L'une des premières est, bien sûr, la durée réduite des essais, qui ne permet pas d'observer les effets de vieillissement des matériaux, ni des cycles climatiques répétés. Un essai dure, en général, une ou deux saisons et ne reproduit donc même pas un cycle climatique complet. Pour pallier cet inconvénient, on choisit la période d'essai la plus adaptée, selon la problématique étudiée (essais d'orniérage en été, essais sur chaussées à faible trafic plutôt entre la fin de l'automne et le début du printemps, etc.). L'absence de vieillissement conduit en général à des durées de vie un peu plus favorables que sur chaussées réelles, mais cet effet peut être corrigé à partir des résultats obtenus sur la structure de référence.

- Le manège est aussi une installation extérieure soumise au climat du site (océanique tempéré). Cela s'avère suffisant dans de nombreux cas, mais on ne peut pas, par exemple, étudier l'effet de conditions sévères de gel. De plus, les paramètres climatiques (température, humidité) varient en permanence, ce qui rend l'interprétation des essais plus complexe. Cela peut être gênant, notamment pour le calage de modèles de comportement pour lequel des conditions environnementales constantes seraient préférables. Dans certains essais, pour accentuer les effets climatiques, des dispositions spécifiques peuvent être prises : chauffage des températures de surface et arrosage de la chaussée pour augmenter les infiltrations d'eau.

- Le système de chargement du manège n'applique pas d'efforts horizontaux à la chaussée (forces longitudinales de freinage ou d'accélération, forces centrifuges dans les virages), alors qu'ils peuvent jouer un rôle important dans l'usure des couches de surface (polissage, arrachements, ...).

- Malgré son puissant pouvoir accélérateur, le manège ne permet pas d'endommager jusqu'à la ruine les chaussées épaisses à très fort trafic. Pour des raisons de coût et de durée, les essais sont le plus souvent limités à 1 ou 2 millions de chargements et n'ont jamais dépassé, jusqu'à présent, 5 millions de chargements. Les structures testées ont donc en général des épaisseurs réduites et les résultats sont ensuite extrapolés à des structures plus épaisses, en s'appuyant sur les modèles.

Compte tenu de ces limites, il est souvent nécessaire de compléter les essais accélérés par des retours d'expérience de chantiers réels.

Récapitulatif des essais menés sur manège

Le manège de fatigue a été conçu à l'époque où la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées se mettait en place en France et son premier objectif était de servir à la validation et à l'amélioration de celle-ci. Ce rôle a été rempli en partie, mais de manière moins systématique que dans les essais américains de type *AASHTO*. Au cours de ces années de fonctionnement, l'activité du manège s'est en fait partagée entre plusieurs types d'applications :

- l'étude du comportement mécanique des chaussées et la validation ou le calage des méthodes de dimensionnement et de renforcement (dans une moindre mesure) ;

- l'évaluation des matériaux routiers innovants. C'est, sans aucun doute, l'application la plus importante et le manège a accompagné le développement de la plupart des matériaux routiers d'entreprises, utilisés aujourd'hui : enrobés à module élevé (EME), enrobés aux bitumes modifiés, bétons bitumineux minces (BBM) et très minces (BBTM), matériaux à froid, etc. ;

- l'étude de l'agressivité comparée de différents types de pneus ou d'essieux sur les structures de chaussées ;

- d'autres types d'essais, dépassant le cadre de l'évaluation des structures routières : tests de structures de chaussées urbaines pour transport en commun, d'éléments de voirie (passage de canalisations en tranchées, tampons, ...) ou de matériels d'auscultation et d'instrumentation.

Une synthèse des différents essais menés sur le manège de fatigue depuis sa mise en service est présentée au début de ce dossier.

Quelques enseignements tirés de 30 années d'expérimentations

Les articles de ce numéro ont été choisis pour illustrer différentes applications du manège. Sans chercher à être exhaustif, on reprend ici quelques enseignements tirés de ces travaux, par familles de structures de chaussées. Quelques aspects qui n'ont pu être abordés dans les articles précédents (chaussées hydrauliques, validation de modèles mécaniques, dégradations liées à l'eau) sont également évoqués.

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Chaussées bitumineuses

De nombreuses expériences ont porté sur les chaussées bitumineuses, notamment sur :

- **La durabilité de différents types de couches de surface** : BBD_r, BBM et BBTM [1]. Les essais manège ont montré la bonne tenue de ces matériaux, et ont contribué à leur développement ; leurs conditions d'emploi en ont été précisées.

- **Le comportement à l'orniérage** : six expériences ont été menées pour tester différentes solutions afin de réduire l'orniérage : utilisation de bitumes durs ou modifiés, ajout de déchets de câbles en polyéthylène, association d'un EME et d'une couche de roulement très mince (BBTM).

- **Le comportement en fatigue** [2] : celui-ci a fait l'objet de 3 expériences qui ont, notamment, permis de vérifier le comportement en fatigue des EME, de valider leur coefficient de calage et de préciser leurs conditions d'utilisation, de confirmer l'amélioration de la tenue en fatigue apportée par un bitume modifié par un polymère de type SBS, et de comparer la représentativité vis-à-vis du comportement des chaussées de différents essais de fatigue en laboratoire.

Chaussées hydrauliques ou béton

L'une des premières expériences manège, l'expérience B0 (1985-1986) visait à comparer une structure de chaussée à assise en grave-ciment (GC) recouverte de 5 cm de BB) et une structure souple traditionnelle constituée de 5 cm de béton bitumineux (BB), sur 45 cm de grave non traitée (GNT). Ces 2 structures étaient alors jugées équivalentes du point de vue du dimensionnement.

L'expérience a, toutefois, mis en évidence des comportements fortement différenciés de ces 2 structures :

- La structure souple à assise en GNT a atteint sa durée de vie après 400 000 chargements (sous roues jumelées chargées à 65 kN). L'origine principale des dégradations était l'orniérage.

- Le secteur à assise en GC réalisé avec une bonne interface est resté sans dégradation (pas de fissuration, ni d'ornière) après 3,8 millions de chargements. Cela permet de recalculer le dimensionnement de cette structure.

L'expérience a aussi mis en évidence la sensibilité de la structure en GC à la qualité des interfaces. Deux modes de réalisation ont en effet été testés sur deux sections de l'anneau. Sur la première section, la GC compactée a été exposée

à un séchage important après mise en œuvre, ce qui a fragilisé sa partie supérieure (interface avec la couche de roulement). Sur la seconde, la GC a été humidifiée et protégée, ce qui a favorisé les conditions de prise et le collage de l'interface BB/GC. Après 3,8 millions de chargements, la section avec défauts d'interface ne présentait pas d'orniérage, mais était fissurée à 85 %, alors que la partie avec interface saine était sans dégradations.

Deux expériences ont également été consacrées aux chaussées en béton, en 1991-1992, afin de mieux comprendre leur comportement et d'améliorer leur dimensionnement. Les structures testées comprenaient :

- des dalles courtes non goujonnées sur fondation non érodable en béton maigre ;
- des dalles courtes goujonnées sur fondation en béton maigre ;
- des dalles courtes en béton de ciment sur fondation érodable (en sable ciment) ;
- des dalles courtes en béton maigre sur fondation en sable-ciment (structure adaptée aux faibles trafics).

Deux essais ont été réalisés sur ces structures, avec des épaisseurs réduites par rapport à celles utilisées couramment sur chaussées pour obtenir des durées de vie assez courtes (1 million de chargements dans le premier essai, 3 millions dans le second). La photo 1 montre des dégradations obtenues au niveau d'un joint, sur des dalles non goujonnées.



Photo 1
Première expérience sur chaussées béton (1991) ;
dégradations au niveau d'un joint entre dalles
non goujonnées

Ces essais ont permis de :

- Démontrer le meilleur comportement des structures sur fondation en béton maigre. Malgré un dimensionnement identique, celles-ci ont présenté une plus longue durée de vie que les structures sans béton maigre, qui se sont dégradées plus rapidement au niveau des joints (érosion de la fondation en sable-ciment).

- Mettre très clairement en évidence l'effet bénéfique des goujons pour réduire les battements au niveau des joints.

- Valider un modèle de calcul par éléments finis des structures béton, mieux adapté à ces structures discontinues que le modèle de dimensionnement élastique multicouche continu classique. Ces calculs ont conduit à proposer les coefficients de discontinuité k_d utilisés dans la méthode de dimensionnement.

Structures inverses

L'utilisation des graves traitées aux liants hydrauliques (GTLH) en couche de base était très répandue dans les années 1970. Les remontées de fissures transversales constatées sur ces chaussées ont conduit à rechercher des solutions pour éviter ce phénomène. Une solution consistait à réaliser des structures inverses, où une couche de GNT était interposée entre le matériau traité au ciment et la couche de roulement. Pour évaluer cette technique, un essai a été réalisé en 1986-1987. Il a montré l'efficacité de la couche de GNT pour retarder la remontée des fissures du matériau hydraulique ; il a également mis en évidence que le meilleur comportement était obtenu avec une épaisseur faible (12 cm) de GNT. Une épaisseur plus importante de GNT augmentait l'orniérage et la fatigue de la couche de roulement, et faisait perdre le bénéfice de la fondation rigide. L'essai manège n'avait pas mis en évidence de problème de dégradation de ce type de structures, lié à l'infiltration d'eau à moyen ou long terme dans la couche de GNT, parfois à l'origine de mauvais comportements sur chaussées réelles.

Validation de modèles viscoélastiques

Les résultats manège ont aussi été utilisés pour l'évaluation des modèles de calcul des structures de chaussées. Un article de ce numéro est consacré aux modèles d'orniérage des matériaux non traités [3], mais un travail important a aussi porté sur la viscoélasticité des matériaux hydrocarbonés.

Au LCPC, le modèle de Huet-Sayegh [4] a été adopté pour décrire le comportement thermo-viscoélastique des enrobés bitumineux et deux outils de calcul, faisant appel à ce modèle, ont été développés :

- Le module CVCR (Chaussée viscoélastique sous charge roulante) de CÉSAR-LCPC, utilisant la méthode des éléments finis et pouvant également prendre en compte le comportement élastique non linéaire des GNT [5].

• Le logiciel VISCOROUTE®, basé sur un modèle multi-couche et une méthode de résolution analytique [6].

Plusieurs expériences ont été exploitées pour valider ces outils, sous des conditions de chargement variées (différents types de charges, de vitesses et de températures) et ont confirmé la qualité de leurs prédictions.

Les figures 1 comparent des mesures de déformations réalisées sur le manège en 2008 [7] avec différentes charges (roue simple, tandem, tridem) à des simulations réalisées en élasticité linéaire, avec le logiciel ALIZÉ [8] et en viscoélasticité, avec VISCOROUTE®.

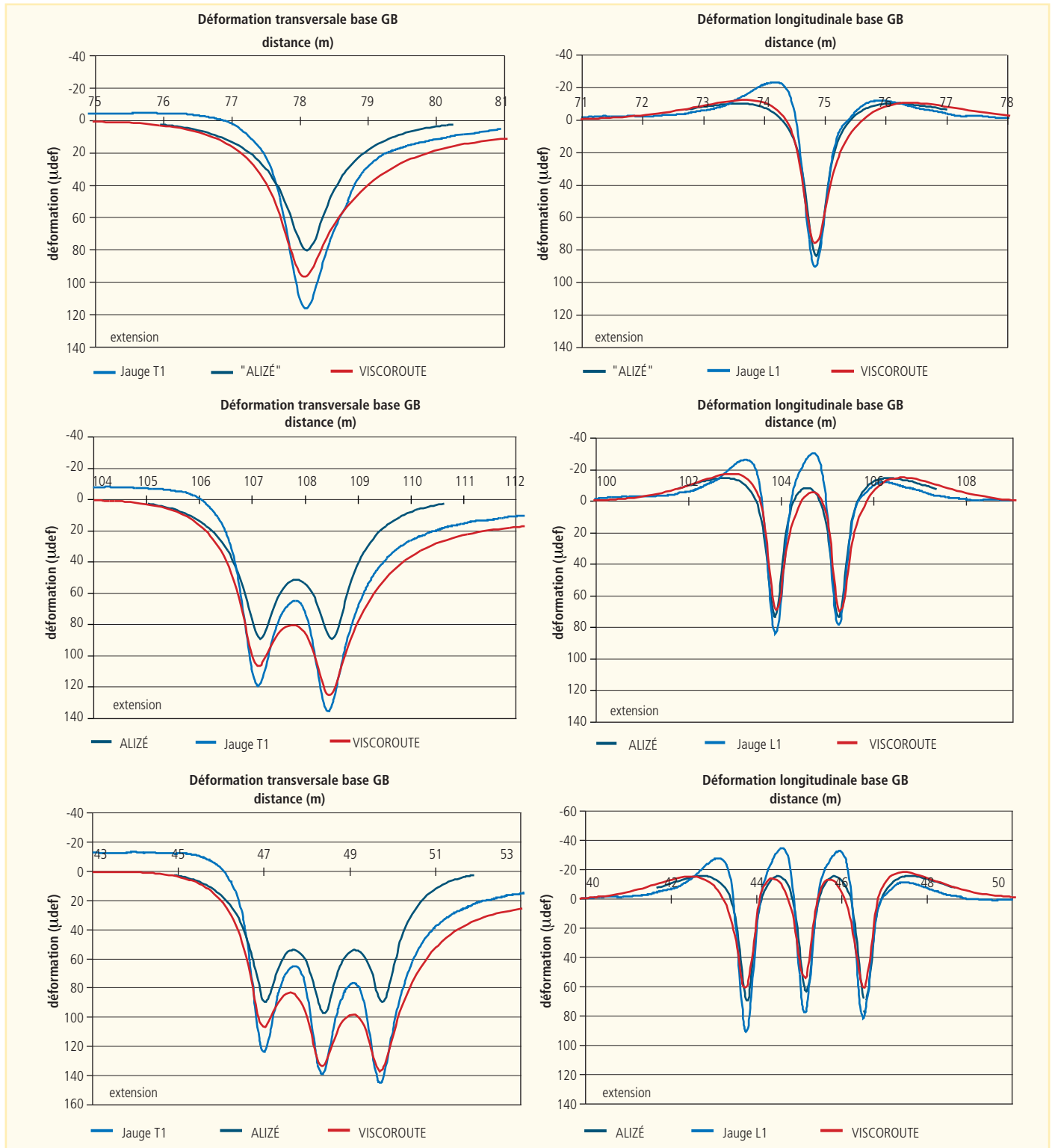


Figure 1
 Comparaison des déformations mesurées et calculées sous différents types de charges sur une chaussée bitumineuse
 Structure : 6 cm BB + 20 cm GB ; mesures à 20 °C et 42 km/h

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Les résultats expérimentaux mettent bien en évidence la réponse visco-élastique de la chaussée, caractérisée par une dissymétrie des signaux de déformation au passage des charges roulantes et des effets de cumul des déformations (en particulier transversales), au passage d'essieux multiples. On peut voir que le logiciel VISCOROUTE® reproduit mieux les déformations mesurées que l'élasticité linéaire, en particulier les historiques de déformations transversales au passage d'essieux tandem ou tridem.

Comportement des interfaces

Le comportement et la durabilité des interfaces entre couches de chaussées restent encore des sujets assez peu étudiés. Dans la méthode française de dimensionnement des chaussées, les conditions de contact entre couches sont considérées, de façon simplifiée, soit parfaitement collées, soit parfaitement glissantes. Les essais manège et l'instrumentation montrent que le comportement réel des interfaces est plus complexe.

Récemment, des suivis de déformation au niveau des interfaces ont été réalisés sur le manège, sur une structure bitumineuse [9] composée d'une couche de roulement en BBSG de 6 cm d'épaisseur et 2 couches d'assise en GB de 8 et 9 cm. Les déformations transversales mesurées au passage d'une roue simple, au niveau de l'interface entre les 2 couches de GB (couche supérieure) et pour différentes conditions de température sont représentées sur la figure 2. On constate qu'à faible température, les déformations à l'interface sont faibles (de l'ordre de 30 à 40 μdef , en extension, mais qu'au-delà de 20 °C, ces déformations augmentent rapidement. Les calculs de structures de chaussée (avec ALIZÉ ou VISCOROUTE), réalisés avec une interface collée, ne permettent pas de retrouver ce comportement.

Les mesures sur le manège tendent à montrer qu'à température élevée, un certain glissement se produit au niveau de l'interface, générant des contraintes de traction et des déformations d'extension dans la couche supérieure de GB. Les conditions de collage de l'interface semblent donc varier avec la température. Pour mieux décrire ce comportement, on a modélisé l'interface comme une couche mince de 2 mm d'épaisseur, possédant un comportement élastique et calé le module de cette interface sur les déformations mesurées. Les modules d'interface ainsi obtenus, par calage, varient entre 1 000 MPa à 5 °C et 25 MPa à 35 °C (figure 3).

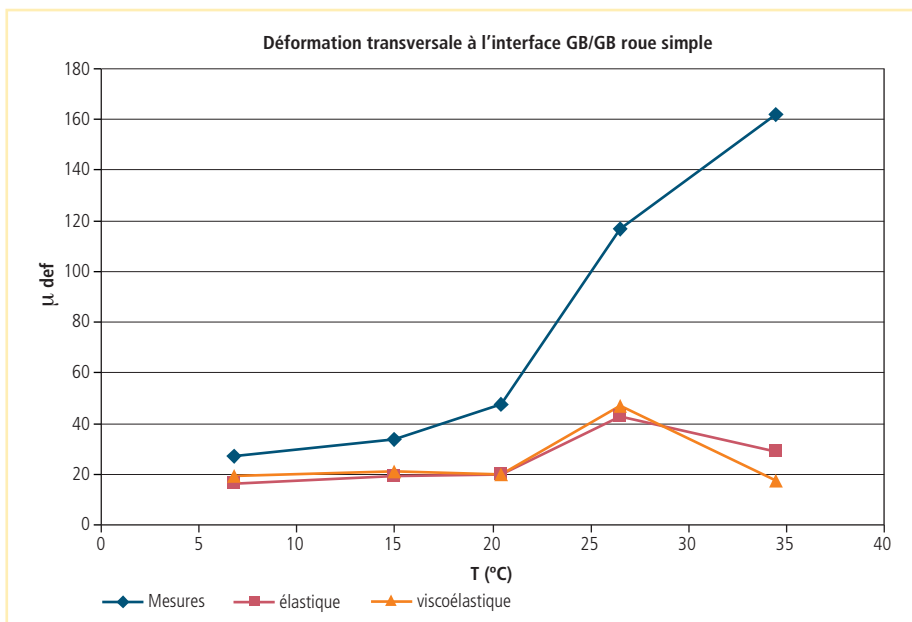


Figure 2 Evolution des déformations transversales au niveau de l'interface GB/GB d'une structure bitumineuse en fonction de la température (comparaison mesures et modélisation)

IFSTTAR

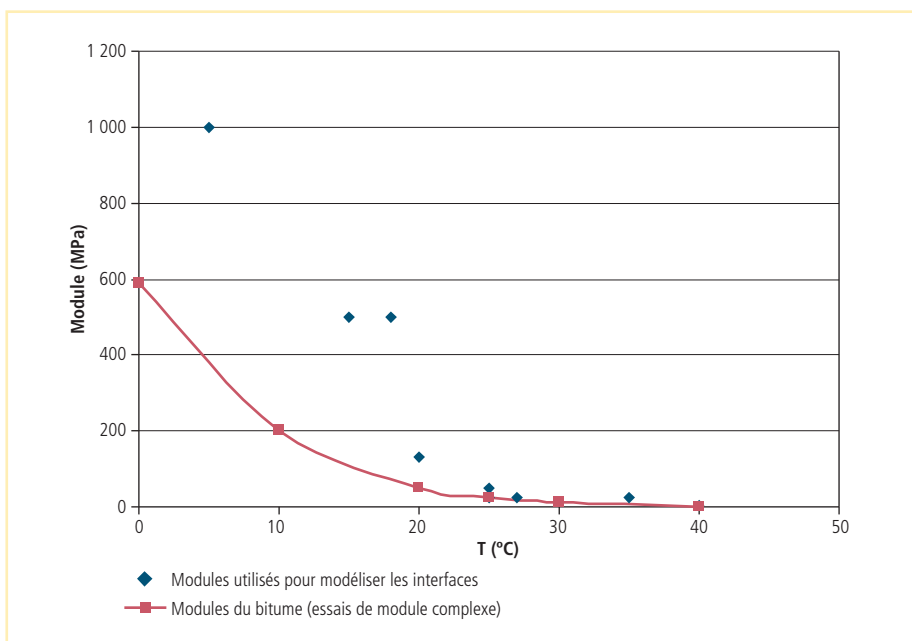


Figure 3 Valeurs calées de module d'élasticité de l'interface GB/GB, et comparaison avec le module d'un bitume pur 50/70

IFSTTAR

On peut noter que ces valeurs sont à peu près du même ordre de grandeur que celles de la norme du module complexe d'un bitume pur 50/70.

Ces mesures (également confirmées sur d'autres essais manège) permettent de mieux approcher le comportement réel des interfaces. Une description de l'interface par une couche mince, de faible module (se rapprochant du module d'un bitume) semble bien traduire le comportement observé. Des explications à certains mécanismes encore mal compris

aujourd'hui (ex : fissuration par le haut des chaussées bitumineuses) sont peut-être à tirer de ces enseignements.

Dégradations dues à l'eau

A l'occasion de différentes expériences, réalisées en conditions pluvieuses, il a été possible d'observer et d'analyser sur le manège les dégradations liées aux infiltrations d'eau, et leur évolution parfois très rapide.

L'effet de l'infiltration d'eau sur le comportement de chaussées à faible trafic (5 cm de BB sur une assise en GNT) a bien été mis en évidence lors d'une expérience réalisée en 1990. Elle comportait 4 sections, avec la même structure, mais avec 4 GNT de caractéristiques différentes en couche d'assise. Au cours de cette expérience, une période très pluvieuse est survenue alors que la fissuration commençait à apparaître. L'infiltration de l'eau dans la GNT, favorisée par la fissuration, a accéléré rapidement les dégradations (orniérage puis fissuration), et a souligné l'effet très important de la sensibilité à l'eau des graves utilisées. L'une des structures, comportant une GNT volontairement polluée par un faible pourcentage de fines argileuses, s'est totalement fissurée en à peine 10 000 cycles de chargement (photo 2).



Photo 2
Dégradations liées aux infiltrations d'eau sur une chaussée à faible trafic, à assise en GNT polluée, sensible à l'eau (expérience de 1990)

Dans les couches bitumineuses, la présence d'eau aux interfaces et dans le corps de chaussée peut entraîner un désenrobage des granulats ou un décollement d'interface, qui peut mener à l'apparition de nids-de-poules ou à des départs de matériaux. C'est ce qui a été observé dans une expérience réalisée en 1990, qui comportait une assise en matériau traité au liant hydraulique, et une couche de roulement bitumineuse mince (4 cm). Une période pluvieuse sous trafic a entraîné l'accumulation d'eau à l'interface entre le BBM et le matériau hydraulique, très peu perméable. Cela s'est traduit par la formation soudaine de nids-de-poule (photo 3).



Photo 3
Formation de nids-de-poule suite à l'accumulation d'eau à l'interface entre l'assise en matériau traité au liant hydraulique et la couche de roulement

L'infiltration et l'accumulation d'eau, notamment aux interfaces entre couches de chaussées, peuvent également conduire à des phénomènes de surpression d'eau au passage des charges, qui accélèrent les dégradations. Cela a été observé à plusieurs occasions, et en particulier lors d'un essai réalisé en 2004 avec couches de roulement minces (BBM et BBTM) sur une assise bitumineuse. L'eau s'est infiltrée à travers ces couches relativement perméables, générant une dégradation de l'interface et l'expulsion de la couche d'accrochage, sous l'effet des surpressions créées par le trafic (photo 4).



Photo 4
Remontée d'eau et d'émulsion due aux surpressions interstitielles générées par le trafic (Expérience du projet Format, 2004)

Conclusions et perspectives d'utilisation du manège

Dans ce numéro de la RGRA, on s'est efforcé de donner un aperçu des apports du manège de fatigue et de ses principales applications jusqu'à ce jour. Aujourd'hui, la demande d'expérimentations en vraie grandeur reste importante tout en se diversifiant, en relation avec les innovations technologiques, l'évolution des modes de transport et les préoccupations liées au développement durable, aux économies d'énergie ainsi

qu'à l'aménagement urbain. Dans ce contexte quelques perspectives d'utilisation du manège de fatigue, en liaison avec les orientations de recherche de l'IFSTTAR, sont évoquées ci-après. Elles s'inscrivent, en particulier, dans le projet Route de cinquième génération (R5G) de l'IFSTTAR [10], qui vise à réaliser des démonstrateurs pour évaluer les technologies des routes de demain.

Durée de vie des chaussées, prise en compte des mécanismes de dégradation autres que la fatigue

On construit peu de routes neuves aujourd'hui et la préoccupation majeure des maîtres d'ouvrage est l'entretien et la préservation du patrimoine. Dans ce domaine, pour les chaussées à fort trafic, l'expérience montre que l'endommagement par fatigue des couches d'assise n'est pas le mode de dégradation le plus fréquent. Les dégradations concernent, le plus souvent, les couches supérieures des chaussées et leurs causes peuvent être multiples : vieillissement des matériaux, effet du climat, fissuration par le haut due aux sollicitations du trafic, dégradation des interfaces entre couches, manque d'entretien. Le manège peut contribuer à mieux comprendre ces mécanismes et mettre au point des matériaux plus durables.

Comme expérimenté récemment, l'utilisation de nouvelles techniques d'instrumentation (capteurs miniaturisés, fibres optiques) permettra de mieux mesurer les sollicitations complexes produites par les charges roulantes dans les couches supérieures des chaussées et d'aider à l'identification des divers mécanismes à l'œuvre.

Evaluation de solutions d'entretien et de renforcement

Les besoins croissants de maintenance des réseaux routiers conduisent à rechercher de nouvelles solutions innovantes d'entretien et de renforcement, plus durables et plus économiques (matériaux à hautes performances, améliorés par des fibres ou des grilles, retraitement en place, ...). Les expérimentations en vraie grandeur sur manège peuvent être un moyen efficace pour comparer différentes solutions d'entretien ou de renforcement, et valider leur dimensionnement.

Effet de l'évolution des charges des poids lourds

Les contraintes économiques et environnementales conduisent aussi à une évolution des configurations et des charges des poids lourds. Aujourd'hui, les poids lourds sont équipés majoritairement d'essieux multiples (en particulier tridem) et leurs poids total en charge (PTC) augmente régulièrement. Les valeurs maximales autorisées sont passées de 38 tonnes à 40 tonnes en 1986, puis à 44 tonnes en 2012 et des charges encore plus lourdes sont envisagées. L'agressivité de ces essieux multiples et de ces charges croissantes, notamment vis-à-vis des couches de roulement, est mal connue. Des essais de fatigue sur le manège sont envisagés pour l'étudier, en comparaison avec l'essieu à roues jumelées de 13 tonnes, qui reste la charge de référence du dimensionnement.

De façon plus générale, il serait sans doute plus pertinent de réaliser aujourd'hui les essais de fatigue sur le manège avec des essieux tridem, plutôt qu'avec les essieux classiques à roues jumelées.

Matériaux recyclés et à faible impact environnemental

Le recyclage et l'utilisation de matériaux alternatifs ou plus économes en énergie et en ressources, se généralisent dans les infrastructures routières. De nombreux travaux sont menés pour évaluer l'impact environnemental de ces différentes solutions, mais on s'intéresse moins à leur durabilité. Des essais manège permettraient aisément d'évaluer et de comparer la résistance sous trafic de ces techniques récentes.

Chaussées urbaines

En milieu urbain, on voit apparaître de plus en plus de solutions de chaussées innovantes : revêtements spécifiques, chaussées modulaires, permettant de recevoir différents réseaux, voiries partagées, supportant le trafic des véhicules légers, des bus, des tramways sur rails ou sur pneus. Ces nouvelles structures, souvent en béton, présentent des pathologies spécifiques, qui pourraient être évitées par des essais préalables, sous trafic accéléré. La réparation de ces nouvelles structures nécessite également des solutions particulières, rapides à mettre en œuvre pour ne pas gêner la circulation, qui demandent bien souvent à être testées préalablement.

Méthodes innovantes d'instrumentation et d'auscultation

Les évolutions récentes dans les domaines des capteurs, de l'acquisition et du traitement des données permettent de concevoir des systèmes performants d'instrumentation des structures des chaussées, capables de suivre en temps réel leur état, de prévoir leurs dégradations, et ainsi d'optimiser leur maintenance. Les maîtres d'ouvrage s'intéressent de plus en plus à de tels systèmes de surveillance et les demandes d'évaluation de systèmes d'instrumentation, ou d'auscultation sur le manège sont en constante augmentation.

Routes du futur

Des recherches sont engagées à l'IFSTTAR, en liaison avec le projet R5G, pour concevoir de nouveaux types d'infrastructures, intégrant des dispositifs de récupération d'énergie (thermique ou photovoltaïque), de dégivrage, d'alimentation des véhicules électriques par induction ou de guidage des véhicules.

Ces projets conduisent à des structures souvent complexes, comportant différentes inclusions (câbles, capteurs, couches drainantes, ...) dont il est nécessaire d'évaluer la tenue mécanique. Le manège de fatigue constitue un excellent démonstrateur pour évaluer et optimiser ces structures, avant le passage sur chantier. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Brosseau Y., Il était une fois la durabilité des produits bitumineux innovants testés sur la manège d'essai des chaussées du LCPC à Nantes, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 914, septembre 2013
- [2] Odéon H., Expérimentations sur la fatigue des matériaux bitumineux, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 914, septembre 2013
- [3] El Abd, A., Hornych P., Expérimentation en vraie grandeur sur l'orniérage des chaussées à faible trafic, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 914, septembre 2013
- [4] Huet C. (1963), Etude par une méthode d'impédance du comportement visco-élastique des matériaux hydrocarbonés, Thèse de Docteur-Ingénieur, Faculté des Sciences de Paris
- [5] Heck, J.-V. (2001), Modélisation des déformations réversibles et permanentes des enrobés bitumineux. Application à l'orniérage des chaussées, Thèse de Doctorat, Université Nantes, France
- [6] Chabot, A., Chupin, O., Deloffre, L., Duhamel, D., 2010. Viscoroute 2.0: a tool for the simulation of moving load effects on asphalt pavements. RMPD Special Issue on Recent Advances in Numerical Simulation of Pavements 11(2), 227-250
- [7] Kerzrého, J.-P., Hornych P., Chabot A., Deloffre L., Trichet S., Gouy T., Coirier G. (2012), Evaluation of the aggressiveness of different multi-axe loads using APT tests, 4th International Conference on Accelerated Pavement Testing, Davis, Californie.
- [8] IFSTTAR : ALIZÉ-LCPC, logiciel de dimensionnement des structures de chaussées, www.alize-lcpc.com
- [9] Changenot, V. Etude et modélisation de la réponse de chaussées bitumineuses sous chargements multi-essieux, Rapport de fin d'études, ENTPE, juin 2012, 101 p.
- [10] Hautière N., de La Roche C., Jacquot-Guimbal H., La « route » de cinquième génération (R5G). Quelle infrastructure dans vingt ans et quels services peut-on en attendre ?, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 910, mars 2013 www.rgra.fr

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

AUTEURS

Juliette Blanc
Ingénieur
Laboratoire auscultation
modélisation et expérimentation
des infrastructures de transport
Département matériaux et structures
Institut français des sciences
et techniques des transports,
de l'aménagement et des réseaux
(IFSTTAR)

Xavier Chapeleau
Chargé de recherche
Laboratoire structures
et instrumentation intégrée
Département composants et systèmes
IFSTTAR

Jean-Luc Gautier
Directeur
Centre d'expertise et de documentation
Directeur technique
Colas

Jean Carroget
Directeur adjoint
Centre d'expertise et de documentation
Colas

Pierre Hornych
Responsable du LAMES
IFSTTAR



Dégradations obtenues à la fin de l'essai sur la structure instrumentée avec des fibres optiques continues
End-of-test damage obtained on instrumented structure with continuous optical fibres

Les fibres optiques continues : vers une mesure interne des dommages ?



Traditionnellement, les extensomètres électriques (jauges) sont utilisés pour instrumenter les chaussées. Ils mesurent les déformations de traction en flexion créées par les charges roulantes, et suivent ainsi le comportement mécanique d'une chaussée sous trafic et dans le temps. Toutefois, ce type d'instrumentation présente des limites.

Ce projet de recherche vise à tester la technologie des capteurs à fibre optique comme alternative aux méthodes traditionnelles de mesure des déformations dans les chaussées. En particulier, des fibres optiques à mesure dite « répartie » ont été évaluées. Elles permettent de suivre les déformations tout au long de la fibre (de quelques dizaines de mètres à plusieurs kilomètres selon les technologies des capteurs à fibre optique). Bien que la fréquence d'acquisition soit faible (1 mesure prend une dizaine de secondes), ce type de fibres paraît prometteur pour détecter précocement un endommagement ou une fissuration de l'assise de chaussée (avant qu'elle ne remonte en surface) et suivre son évolution. Leur évaluation a pu être réalisée grâce au manège de fatigue qui a testé à la fois la résistance des fibres lors de la mise en œuvre, puis l'évolution de leurs mesures sous trafic accéléré, en fonction de l'endommagement de la chaussée. Pour favoriser cet endommagement, des défauts ont été créés dans la chaussée.

Technologie des capteurs à fibres optiques (CFO)

Les capteurs à fibres optiques (CFO) ont commencé à être développés dès le début des années 1980. Ils mesurent des déformations ou des variations de température. Aujourd'hui, il en existe plusieurs systèmes, performants et fiables.

La fibre optique comme élément sensible

Une fibre optique se présente sous la forme d'un fil très fin en verre dont le diamètre est d'environ 250 µm (il existe aussi des fibres optiques de diamètre plus petit). L'élément sensible est la fibre elle-même. Le principe de mesure repose sur la détection des modifications d'une ou plusieurs propriétés du signal optique lorsqu'une sollicitation externe est appliquée sur la fibre optique.

Les différentes technologies des CFO

On peut les classer en deux grandes catégories, selon qu'elles permettent de réaliser des mesures ponctuelles ou continues :

- Les réseaux de Bragg constituent d'excellents capteurs locaux de déformations (ou de température). Ils présentent l'avantage de pouvoir être multiplexés sur une même fibre optique (plusieurs réseaux de Bragg peuvent être répartis

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

le long d'une même fibre optique) (figure 1).

- La technologie basée sur la diffusion de Rayleigh permet de réaliser des mesures continues ou réparties de déformation (ou de température) sur une distance allant jusqu'à 70 m de fibre optique (figure 2).

Il est important de souligner que les valeurs déformation et température affectent simultanément la réponse optique du CFO. Pour les différencier, il existe plusieurs techniques. La plus simple est de maintenir constante l'une des deux valeurs pendant que l'autre varie.

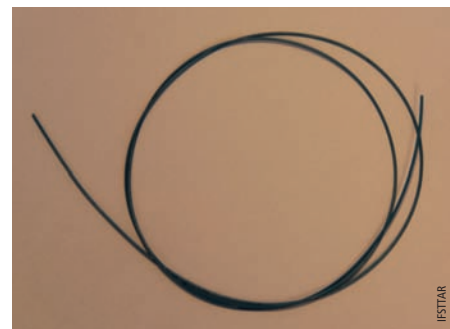


Photo 1
Câble optique utilisé sur le manège de fatigue
Optical cable used on fatigue test track

Instrumentation du manège de fatigue

La structure de chaussée testée sur le manège de fatigue comprend les couches suivantes :

- 2 m de sol de module 95 MPa,
- 30 cm de grave non traitée (GNT) de module 210 MPa,
- 8 cm d'enrobé à module élevé (EME).

Lors de cet essai, deux types de fibres ont été utilisées : les fibres optiques continues, pour essayer de détecter l'endommagement de la chaussée, et des fibres optiques à réseaux de Bragg, pour mesurer localement les déformations (comme des jauges d'extensométrie). Seule la partie sur les mesures des fibres optiques continues est présentée dans cet article.

Dans le but de créer une fissure localisée et de détecter précisément l'endommagement de la structure, des défauts ont été réalisés dans la chaussée. Le plan d'instrumentation est présenté sur la figure 3.

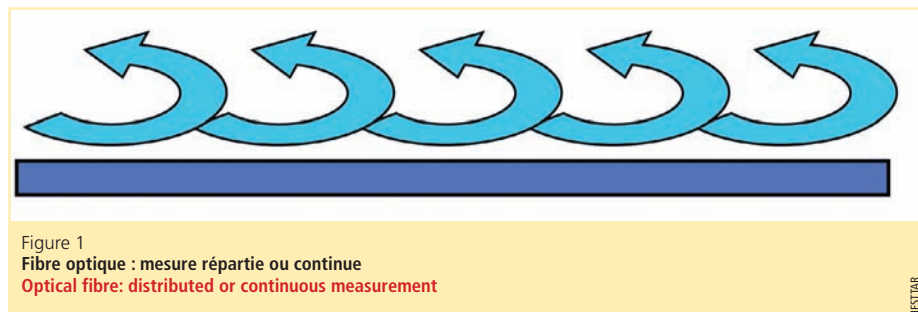


Figure 1
Fibre optique : mesure répartie ou continue
Optical fibre: distributed or continuous measurement

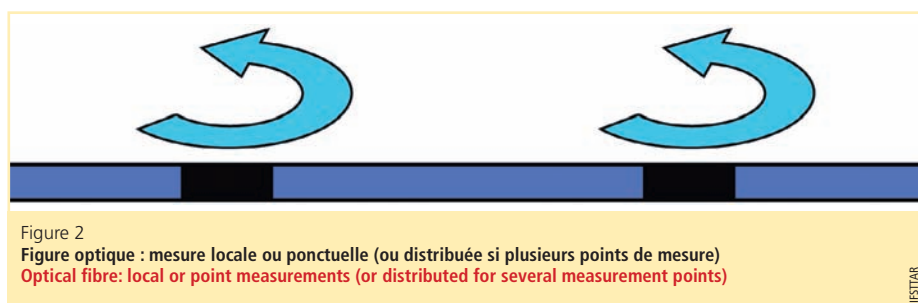


Figure 2
Figure optique : mesure locale ou ponctuelle (ou distribuée si plusieurs points de mesure)
Optical fibre: local or point measurements (or distributed for several measurement points)

Pour les mesures de déformation, ces deux technologies présentent une valeur de déformation minimale détectable similaire ($< 10 \mu\text{def}$) et une résolution spatiale du même ordre de grandeur ($< 1\text{cm}$). En revanche, la fréquence d'acquisition des systèmes d'interrogation de réseaux de Bragg est beaucoup plus rapide (de quelques Hz à plusieurs kHz) que celle d'un interrogateur Rayleigh (environ 1 à 10 secondes pour une mesure). Une autre différence entre les deux technologies réside dans le coût des systèmes de mesures. Bien que les prix des interrogateurs de réseaux de Bragg varient beaucoup selon les performances (environ 20 000 €), ils sont moins chers qu'un interrogateur Rayleigh (environ 80 000 €).

En tant que capteurs, les fibres optiques offrent d'autres avantages importants :

- Une faible intrusivité, en raison du faible diamètre de la fibre (2 à 3 mm avec la gaine de protection) et un faible coût de la fibre elle-même (environ 3 €/m).
- Une grande durabilité, car il s'agit d'un capteur passif, insensible à la corrosion et qui ne nécessite aucune alimentation électrique. La mesure est réalisée en faisant passer un signal lumineux dans la fibre. Des applications en géotechnique, par exemple, ont atteint sans problème des durées de vie d'une dizaine d'années.

Les fibres optiques utilisées sur le manège de fatigue

L'objectif des tests sur le manège était d'évaluer la faisabilité de détecter l'apparition de fissures dans l'enrobé, avec les fibres optiques, comme cela a déjà été réalisé avec succès dans d'autres applications, notamment sur des structures en béton [1 à 3]. Un câble optique (photo 1) possédant un revêtement assez rigide a été choisi pour les essais sur enrobés, afin de résister aux températures de mise en œuvre, et au poinçonnement par les granulats de l'enrobé.

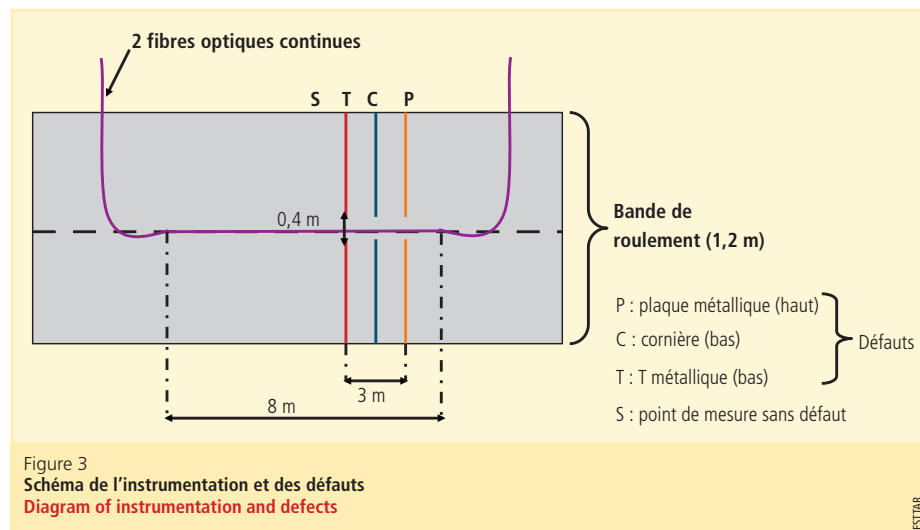


Figure 3
Schéma de l'instrumentation et des défauts
Diagram of instrumentation and defects

Déroulement du chantier

Réalisation de défauts dans la structure

Trois types de dispositif ont été utilisés : une cornière métallique, un T et une plaque métallique.

Deux cornières en métal (avec une hauteur de 4 cm) et deux barres en forme de T (avec une hauteur de 4 cm) ont été fixées dans la grave (photo 2). Il y a un espacement de 1,5 mètre entre les deux défauts.

Les plaques métalliques ont été mises en place dans l'enrobé après le passage du finisseur, avant le compactage. L'EME a été un peu excavé avec une truelle et les plaques ont été enfoncées avec un marteau (photo 3).

Mise en place des fibres optiques continues

Deux fibres optiques continues ont été mises en place sur un tapis d'enrobé d'1 cm environ (photos 4 et 5). Les extrémités des fibres, situées sous le passage des chenilles du finisseur, ont été placées dans une gaine de protection en fibre de verre. Une saignée a été réalisée dans la GNT pour bien protéger les extrémités des fibres.

Le tapis d'enrobé a été réalisé manuellement avant le passage du finisseur (largeur 20 cm environ, sur une longueur de 7 m). Plusieurs personnes ont ensuite installé les fibres optiques continues sur le tapis d'enrobé (photo 6).



Photo 2
Cornières métalliques et barres en T fixées dans la grave
Angle irons and bars in T form inserted in roadbase material



Photo 3
Installation des deux plaques métalliques après le passage du finisseur
Installation of two steel plates after passage of paver



Photo 4
Réalisation manuelle d'un tapis d'enrobé
Covering with asphalt mat



Photo 5
Réalisation d'un tapis d'enrobé et mise en place de la fibre
Covering with asphalt mat and placing of fibre



Photo 6
Mise en place des fibres optiques continues
Placing of fibre



Photo 7
Fibre recouverte d'enrobé
Asphalt covering over fibre

Les fibres ont été recouvertes manuellement d'enrobé avant le passage du finisseur (photo 7). Elles ont parfaitement résisté à la température de mise en œuvre et au compactage.

Description de l'essai manège

Deux phases de chargement ont été appliquées dans l'expérience. Pour les 308 000 premiers passages du manège (du 9 août au 4 décembre 2012), les 4 bras étaient équipés de roues jumelées, chargées à 65 kN. Les 221 000 passages suivants (du 5 au 18 décembre 2012) ont ensuite été effectués avec une charge de 75 kN.

Les mesures avec les fibres optiques continues ont été prises tous les 50 000 passages pour suivre progressivement l'évolution de l'endommagement de la structure.

Tous les 50 000 chargements, 5 mesures du signal optique Rayleigh ont été réalisées dans l'ordre suivant :

- sans charge (référence),
- avec la charge positionnée au niveau du défaut P (« plat »),
- avec la charge positionnée au niveau du défaut C (« cornière »),
- avec la charge positionnée au niveau du défaut T (« T métallique »),
- avec la charge positionnée au point S, sans défaut.

Les mesures de déformation obtenues par les fibres optiques continues avec l'interrogateur Rayleigh sont relatives (différence entre 2 mesures du signal optique Rayleigh). On peut ainsi avoir la

déformation relative de la fibre entre un état chargé et non chargé, ou entre un état après N_1 cycles de chargement et après N_2 cycles.

Les profils de déformation peuvent donc être obtenus de 2 façons :

- En prenant la différence entre les mesures du signal optique Rayleigh entre un état chargé (par exemple : mesure au niveau du défaut P) et non chargé (mesure de référence) à N cycles.
- En prenant la différence entre les mesures de référence (sans chargement) du signal optique Rayleigh à N_1 et N_2 cycles.

Seules les différences de mesures entre un état chargé et non chargé, plus faciles à interpréter, sont présentées dans cet article.

Remarque : Pour les profils de déformation obtenus à partir des mesures entre un état chargé et non chargé, on considère que la température de l'enrobé n'a pas varié entre ces 2 mesures. Cette hypothèse est raisonnable puisque l'intervalle de temps entre les 2 mesures est inférieur à 20 minutes. Les niveaux des profils de déformation obtenus à partir des mesures entre un état chargé et non chargé ne sont donc pas décalés par les effets de température.

Résultats des mesures

La procédure de mesure avec les fibres continues a consisté à appliquer la charge du manège (demi-essieu à roues jumelées chargé à 65 kN) au niveau de chacun des défauts P, C et T créés dans la structure, et à mesurer les déformations produites par ce chargement, par différence avec un état initial, sans chargement, au même nombre de passages.

Comme le comportement de l'enrobé bitumineux est viscoélastique, on constate que, lorsqu'on arrête la charge routière en un point de la chaussée, les déformations sous cette charge augmentent en fonction du temps (phénomène de fluage).

Pour chacun des points de mesure P, C et T, on a donc essayé de conserver toujours le même intervalle de temps entre la mise en place de la charge, et le déclenchement de la première mesure (environ 1 minute).

La figure 4 présente les déformations mesurées avec les fibres optiques continues, dans la structure en EME, au niveau du défaut P, avec chargement et en prenant la mesure sans chargement comme référence. Le chargement appliqué produit un pic de déformation au voisinage du défaut P.

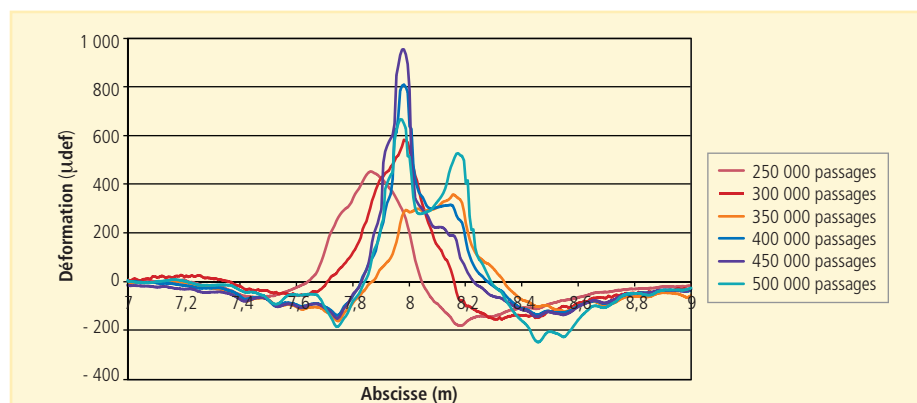


Figure 4
Mesures des déformations dans la structure en EME avec les fibres optiques continues, au niveau du défaut P, sous chargement
Deformation measurements in EME (high modulus asphalt) structure with continuous optical fibres, at level of defect P, Under load

En comparant ces mesures avec les photos des fissures au niveau du défaut « plaque (P) », à différents nombres de passages, on remarque que :

- Avant 300 000 passages, le signal de déformation n'évolue pas, il n'y a pas non plus d'apparition de fissure (photos 8 et 9).
- A partir de 350 000 passages, la fibre montre déjà une déformation du signal, alors qu'aucune fissure ne remonte encore en surface. Il semble donc que la fibre détecte bien un endommagement interne (photos 10 et 11).

- A la fin de l'essai (520 000 passages), la fissure en surface se dédouble (photo 12). Cela pourrait expliquer les deux pics observés sur les mesures des fibres optiques continues.

On ne peut pas tirer de conclusions précises concernant la valeur maximale du pic de déformation. En effet, la valeur de ce maximum dépend fortement du temps que l'on met à faire les mesures et de la température extérieure.

La figure 5 présente les déformations mesurées avec les fibres optiques continues, dans la structure en EME, au niveau du point S (sans défaut), avec chargement et en prenant la mesure sans chargement comme référence. Comme précédemment, le chargement appliqué produit un pic de déformation au niveau du point S. Par contre, on n'observe que de faibles modifications de ce pic de déformation. Lors des relevés de fissuration, aucune fissure n'a été observée au niveau du point S.



Photo 8
Evolution de la fissure à 250 000 passages
Evolution of crack after 250,000 passages



Photo 9
Evolution de la fissure à 300 000 passages
Evolution of crack after 300,000 passages



Photo 10
Evolution de la fissure à 426 000 passages
Evolution of crack after 426,000 passages



Photo 11
Evolution de la fissure à 450 000 passages
Evolution of crack after 450,000 passages



Photo 12
Evolution de la fissure à 520 000 passages
Evolution of crack after 520,000 passages

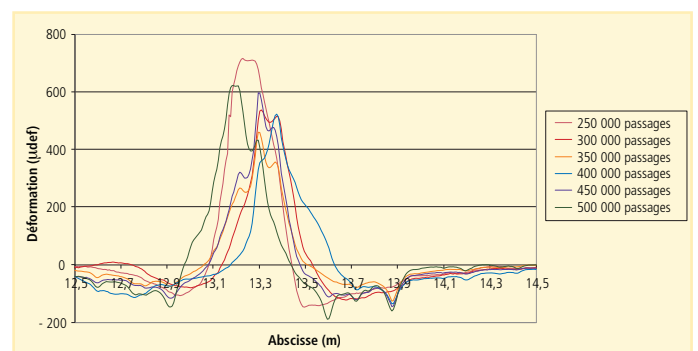
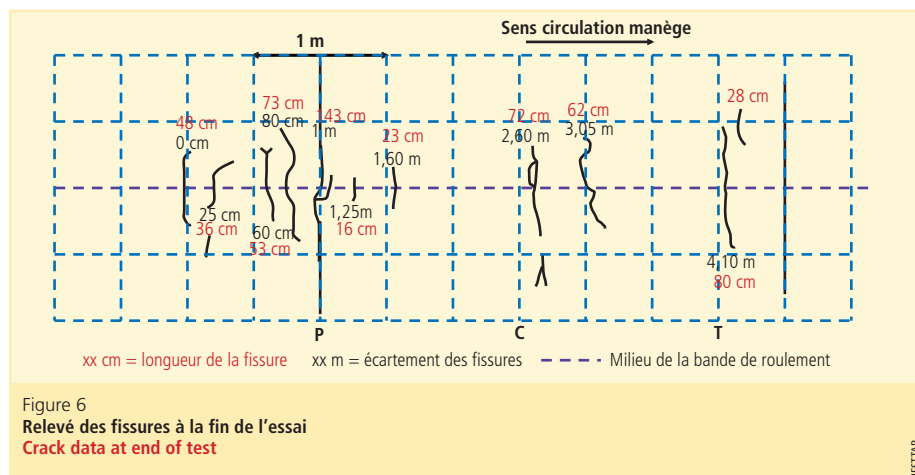


Figure 5
Mesures des déformations dans la structure en EME avec les fibres optiques continues, au niveau du point S (sans défaut), sous chargement
Deformation measurements in EME (high modulus asphalt) structure with continuous optical fibres, at level of defect S (without damage), under load

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

Les graphiques montrant l'évolution de la forme des courbes de déformation au niveau des 2 autres défauts ne sont pas présentés dans l'article. Cependant, ils sont similaires à celui du défaut « P ». Cela est cohérent avec le relevé de fissuration réalisé en fin d'expérience sur la section (figure 6), qui montre qu'une fissure importante s'est formée au niveau de chaque défaut.

Il est prévu de poursuivre l'évaluation de ces fibres optiques continues, à la fois sur le manège et en laboratoire. En effet, les résultats sous charge statique demandent à être confirmés, pour d'autres structures de chaussées. L'analyse des mesures sans chargement demande aussi à être poursuivie, pour voir si elles sont exploitables, car elles seraient plus simples à réaliser sur une chaussée réelle.



Conclusion et perspectives

Cette expérimentation constitue une première évaluation de l'utilisation de mesures de déformations par fibres optiques continues dans une structure de chaussée bitumineuse. Les premiers résultats obtenus sont encourageants :

- L'expérience a montré le bon fonctionnement des fibres optiques dans la chaussée. Elles ont bien résisté à la phase de construction de la chaussée, et ont continué à fonctionner jusqu'à la fin de l'expérimentation, malgré la fissuration de la chaussée.
- Deux procédures de mesure ont été évaluées, pour la détection de l'endommagement : une mesure sans chargement qui consiste à analyser l'évolution des déformations de la fibre, entre 2 nombres de cycles de chargement et une mesure sous charge statique.
- D'après les premiers résultats, les mesures sous charge statique semblent plus sensibles à l'endommagement de la chaussée. En effet, la forme des signaux de chargement, initialement à peu près sinusoïdale, se modifie, et devient beaucoup plus irrégulière, dès que la chaussée commence à s'endommager.

En laboratoire, il est prévu de réaliser des essais de flexion, sur des plaques d'enrobé pré-fissurées, équipées d'une fibre optique continue. Ces essais, réalisés en conditions bien contrôlées, devraient permettre de mieux évaluer la sensibilité de la fibre à la présence d'une fissure dans l'enrobé, et à sa propagation. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Chapeleau X., Sedran T., Cottineau L.-M., Cailliau J., Taillade F., Gueguen I., Henault J.-M., "Study of ballastless track structure monitoring by distributed optical fiber sensors on a real-scale mockup in laboratory", Eng Struct, novembre 2013
- [2] Gemes A., Fernandez-Lopez A., Soller B., "Opt Fiber Distributed Sensing", Principles Appl Struct Health Monit, 2010, Vol 9, pages 233-45
- [3] Henault J.-M., Salin J., Moreau G., Delepine-Lesoille S., Bertrand J., Taillade F. "Qualification of a truly distributed fiber optic technique for strain and temperature measurements in concrete structures", International workshop on ageing management of nuclear power plants and waste disposal structures, vol. 12, 2011



Continuous optical fibres: Towards an internal measurement of damages?

Traditionally, electrical extensometers (gauges) are used for pavement instrumentation. They measure bending tensile deformations created by rolling loads and thus monitor the mechanical behaviour of a pavement under traffic and with time. However, this type of instrumentation has its limits. This research project seeks to test fibre-optic sensor technology as an alternative to traditional methods used for pavement deformation measurements. In particular, optical fibres for "distributed" sensing have been evaluated. They allow the monitoring of deformations all along the fibre (from several tens of metres to several kilometres depending on the particular fibre-optic sensor technology). Although the acquisition frequency is low (one measurement takes about ten seconds), fibres of this type appear to be promising for early detection of damage or cracks in roadbeds (before they rise to the surface) and for monitoring damage growth. Their evaluation was made possible by the fatigue test track enabling the testing of fibre resistance during application, then the variation of measurement data under accelerated traffic, according to the extent of pavement damage. To accelerate this damage, defects were created in the pavement.

AUTEURS

Mai-Lan Nguyen
Chargé de recherche
Institut français des sciences
et technologies de transport,
de l'aménagement et des réseaux
(IFSTTAR)

Sergio Perez
Responsable de projet
BOMBARDIER Transportation
(Allemagne)

Pierre Hornych
Directeur du laboratoire auscultation,
modélisation, expérimentation
des infrastructures de transport (LAMES)
IFSTTAR

Jean-Pierre Kerzrého
Ingénieur de recherche
IFSTTAR



Test de la route électrique sur le manège
Testing of power slab on test track

Essai des dalles Bombardier sur le manège Système de recharge de véhicules électriques par induction intégré dans la route



Pour anticiper les problèmes posés par l'accroissement rapide de l'urbanisation actuelle, le domaine des infrastructures de transport se doit d'être innovant. Il doit ainsi faire face aux besoins de mobilité actuels et futurs. Bombardier Transportation a récemment développé son nouveau système d'alimentation par induction des véhicules électriques (VE), dénommé Primove.

Cette technologie intègre dans une dalle préfabriquée en béton installée dans la chaussée, les câbles d'alimentation électrique pour créer un champ d'induction électromagnétique. Le système d'alimentation par induction peut être utilisé pour recharger rapidement les VE lorsqu'ils sont en mouvement (recharge dynamique) ou à l'arrêt (recharge statique). L'avantage de cette technologie, totalement invisible, est qu'elle offre une solution très pratique, sans contact, pour le chargement électrique des VE, ce qui permet de résoudre leur problème d'autonomie. Un aspect clé du système est d'assurer la durabilité des composants. Ainsi la conception de la dalle préfabriquée qui sera sollicitée sous trafic lourd en milieu urbain et celle de la structure de la chaussée support, jouent un rôle important. Afin d'évaluer le comportement mécanique et la durabilité de la dalle, il a été décidé de réaliser un essai en vraie grandeur avec le simulateur de trafic routier lourd, le manège de fatigue de l'IFSTTAR à Nantes.

Cet article présente le concept de la chaussée expérimentale en dalles préfabriquées, la solution mise en place et le suivi du comportement des dalles dans l'essai en cours, au manège.

Introduction

La route électrique devient de plus en plus réaliste. Parmi les technologies en cours de développement, la recharge par induction se concrétise en Allemagne et en Belgique [1]. Outre les avantages propres aux solutions électriques dans le domaine du transport, à savoir aucune utilisation de carburants ordinaires (essence, diesel), limitation des émissions et des bruits, la technologie d'alimentation électrique par induction en offre d'autres : pratique, sûre et invisible.

Elle permet également de résoudre le problème d'autonomie des VE et de réduire ainsi leurs poids en diminuant la taille des batteries, en particulier pour les véhicules de transports en commun.

Cette nouvelle technologie d'alimentation par induction pour l'infrastructure de transport fait partie des projets en cours de développement pour les routes du futur, en France et en Europe (la route de 5^e génération, projet européen *Forever Open Road*, appel à projets européen *Infravation*).

Afin de tester la durabilité de cette dalle préfabriquée de géométrie interne assez particulière sous trafic lourd proche de la réalité, Bombardier a décidé de réaliser un essai en vraie grandeur sur le manège de fatigue de l'IFSTTAR à Nantes. Le manège est un simulateur de trafic lourd routier, bien adapté aux essais de fatigue des structures routières [2]. Depuis les années 2000, le manège a démontré sa capacité de tester des solutions d'infrastructures urbaines [3, 4].

La technologie Primove



Photo 1
Primove, solutions de mobilité électrique sans fil et sans émission pour tous les moyens de transport
Primove wireless, emission-free electric mobility solutions for all means of transportation

Développée par Bombardier Transport, Primove fournit une solution performante et mieux adaptée à l'environnement urbain par son invisibilité totale. Il s'agit d'une offre visant tous les types de véhicules électriques : depuis les systèmes sur rails jusqu'aux voitures particulières (photo 1). Des applications sur tramway et sur bus ont été testées à Augsburg, Lommel et Mannheim, et les premières utilisations sur le réseau public verront bientôt le jour à Braunschweig et Mannheim (Allemagne). Aujourd'hui le système Primove a réussi à surmonter les challenges qui lui permettent de tenir ses engagements. Il assure l'autonomie des VE tout en étant facile à installer et pratique à utiliser en minimisant les différents types de pollution urbaine (pollution de l'air, visuelle et sonore).

Concernant sa facilité d'installation, le système s'est basé sur le principe de construction modulaire composée d'éléments préfabriqués prêts à être montés, de façon simple et rapide. En particulier, le composant responsable de l'induction (dénommé bobine à induction) placé dans la chaussée, a été intégré dans une dalle préfabriquée en béton. Cette dalle produite en usine peut ainsi respecter les standards de très haute qualité et les tolérances constructives indispensables.

L'expérimentation des dalles Bombardier est la première expérience sur le manège d'une solution de route électrique. Elle a démarré en février 2013 et se poursuit actuellement. L'article présente essentiellement la conception de cet essai très spécifique et les premiers résultats du suivi des structures sur le manège.

Concept de la chaussée expérimentale Bombardier

La solution imaginée par Bombardier pour assurer la mise en œuvre sur chaussée des dispositifs d'alimentation par induction consiste à réaliser des dalles béton préfabriquées, contenant les câbles d'alimentation électrique. Dans le cas présent, ces dalles ont une longueur de 5 m, une épaisseur de 25 cm, et sont destinées à être intégrées dans une structure de chaussée. L'alimentation électrique de chaque dalle est indépendante et se déclenche uniquement au passage des véhicules dès lors qu'ils sont pourvus du système de reconnaissance Primove.

Bombardier a demandé à l'IFSTTAR de travailler sur la conception de la chaussée destinée à recevoir les dalles, puis à la tester sur le manège. La solution qui a été proposée consiste à réaliser une couche de fondation en béton bitumineux semigrénu (BBSG) de 8 cm d'épaisseur, puis à positionner sur celle-ci les dalles béton en utilisant des cales métalliques de hauteur réglable, placées aux angles des dalles, afin de contrôler précisément leur niveau final. Un coulis de scellement à hautes performances est ensuite mis en place dans l'espace qui subsiste sous la dalle (environ 2 cm) afin d'assurer la liaison entre la dalle et son support (figure 1).

Cette solution a été proposée car poser les dalles directement sur la fondation n'aurait pas permis d'assurer un nivellement assez précis, ni un bon contact entre la dalle préfabriquée et son support. Après la mise en place des dalles, l'espace autour des dalles a été rempli avec un béton de ciment classe 5 (BC5), et des goujons en fibre de verre et polymère ont été utilisés pour assurer la liaison entre les dalles et ce béton de remplissage, dans le sens longitudinal. Une préfissuration dans le sens transversal, en prolongation des joints entre les dalles et le béton de remplissage, a été réalisée dans le béton de remplissage;

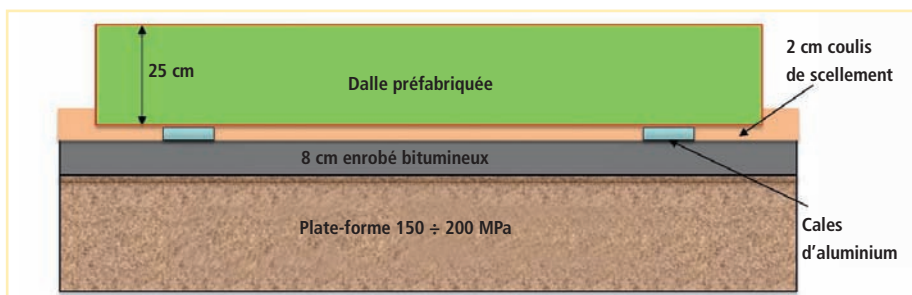


Figure 1
Coupe transversale de la structure de chaussée expérimentale avec une dalle préfabriquée
Cross section of tested pavement structure with precast slab

à cet effet, le béton a été scié, un jour après son coulage, jusqu'à un tiers de sa profondeur, pour éviter l'apparition de fissures non contrôlées.

L'expérimentation des dalles Bombardier est réalisée sur un demi-anneau du manège (figure 2). Une chaussée bitumineuse est mise en place sur l'autre demi-anneau pour assurer la rotation. Cinq dalles prototypes ont été testées, différenciées par leur largeur et par l'épaisseur de la couverture en béton au-dessus des câbles.

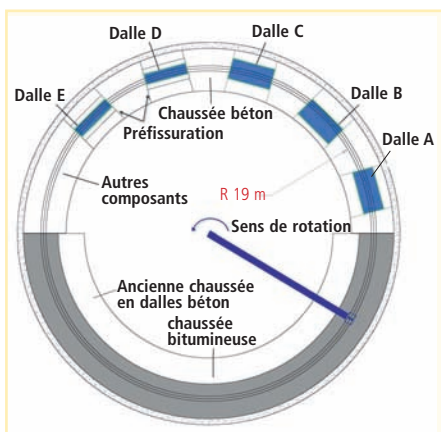


Figure 2
Plan de la chaussée expérimentale avec des dalles Bombardier sur l'anneau A du manège
Layout of test pavement with Bombardier slabs on test track ring A

Construction de la piste expérimentale et solution de mise en place des dalles

La construction de la piste expérimentale, assurée par l'agence d'Arcenis de l'entreprise Eiffage Travaux Publics, a nécessité plusieurs phases. Après avoir enlevé la chaussée existante jusqu'au niveau de la plate-forme en GNT, cette dernière a été mise au bon niveau pour la pose des dalles préfabriquées.

La portance de cette plate-forme mesurée à la Dynaplaque, tous les 3 m environ, était comprise entre 150 et 200 MPa. Ce niveau de portance élevé est raisonnable pour une plate-forme consolidée, existant depuis une quinzaine d'années.

Pour tester le comportement mécanique et la résistance des dalles préfabriquées sous le trafic lourd du manège, la stabilisation de ces dalles est très importante. Pour la réalisation de la structure proposée (figure 1), la procédure suivante a été appliquée pour les 4 premières dalles (A, B, C et D). Pour la dalle E, afin de se rapprocher davantage des conditions réelles de chantier en milieu urbain, c'est-à-dire espace et

temps limités, une procédure de mise en place différente a été testée.

Procédures de mise en place des dalles A, B, C et D

1. Réalisation de la couche de fondation en BBSG (béton bitumineux semi-grenu), d'une épaisseur de 8 cm (celle-ci était nécessaire sur le manège, mais sur un chantier réel, il pourrait s'agir d'un autre support, par exemple rabotage de la chaussée existante).
2. Rabotage fin de cette couche de fondation pour obtenir un premier calage du niveau final de la dalle préfabriquée.
3. Mise en œuvre de cales d'aluminium aux quatre angles de chaque dalle. A chaque endroit, plusieurs cales de différentes épaisseurs ont été utilisées, d'abord une cale épaisse (15 mm), puis des cales plus minces (1 mm minimum).

Le niveau de la surface des cales en chaque point a été vérifié par des mesures de nivellement, pour atteindre précisément le niveau final de la dalle.

4. Mise en place de la dalle sur les cales à l'aide d'une grue (photo 2).

5. Réalisation d'un coffrage périphérique destiné à recevoir le coulis de scellement.

6. Soulèvement de la dalle, et mise en place du coulis de scellement dans le coffrage, puis pose de la dalle sur les cales, noyées dans le coulis.

Pour assurer un bon remplissage de tous les vides avec le coulis, des événements ont été prévus dans les dalles, afin de permettre à l'air de s'échapper, et au coulis de bien se répartir. Ces événements ont été bouchés après la construction.

Pour valider cette procédure et vérifier la stabilité de la dalle sous le passage d'un véhicule lourd, un essai de faisabilité a été effectué avec une dalle (A) directement sur l'anneau du manège (photo 3).



Photo 2
Mise en place d'une dalle à la grue sur le manège
Crane placing a slab on circular test track



Photo 3
Vérification de la solution de stabilisation des dalles
Checking of slab stabilisation solution

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

L'essai a été réalisé 18 jours après la pose de la dalle. Il a consisté à faire circuler lentement un demi-essieu monté en tandem d'un camion d'un poids d'environ 20 tonnes sur la dalle et à mesurer le déplacement vertical de la dalle à différentes positions (aux quatre angles et au milieu de chaque bord). Trois niveaux différents de charge du tandem ont été appliqués : 66 kN, 76 kN et 96 kN.

Les déflexions maximales mesurées, qui augmentent proportionnellement avec le niveau de charge, sont de 10 mm/100, 11 mm/100 and 16 mm/100 respectivement. Ces niveaux de déflexion sont restés faibles, et leur ordre de grandeur était conforme aux estimations réalisées, sur la base de calculs Alizé, avec une dalle collée. Avant l'essai manège proprement dit, ces essais sur site ont ainsi permis de valider, en vraie grandeur, le procédé de construction des dalles.

Après avoir posé les dalles, un béton de ciment BC5 a été utilisé pour remplir l'espace entre les dalles, formant ainsi une chaussée continue.

Il est à noter que toute cette procédure de mise en place de dalle a été réutilisée lors de la pose de deux premières dalles commerciales réalisées par Bombardier sur un arrêt de bus dans la ville de Braunschweig (Allemagne), au mois de juin dernier.

Procédure de mise en place pour la dalle E

Le principe de stabilisation de dalle par un coulis de scellement a été utilisé, mais deux points principaux ont été modifiés :

- Afin de se rapprocher des conditions réelles d'insertion dans une chaussée existante, avec un espace limité, sur un côté, le béton de remplissage a été réalisé avant la mise en place de la dalle (pour simuler une chaussée existante). Lors de la pose de la dalle, plusieurs saignées ont été réalisées dans ce béton de remplissage, pour permettre l'insertion des goujons de liaison.

- Pour accélérer la construction, afin d'évaluer le cas où un nombre important de dalles pourra être installé dans une journée, une procédure industrielle a été réalisée par l'entreprise Freyssinet. La dalle a été posée sur des cales (mais cette fois-ci réglables en hauteur à l'aide de vis). Le coulis a été injecté sous pression (photo 4) directement sous la dalle. Cela évitait de soulever à nouveau la dalle lors de la mise en place du coulis, ce qui limite l'utilisation de la grue sur chantier.



Photo 4

Mise en place de dalle par Freyssinet, avec injection du coulis de scellement
Slab placement by Freyssinet, with sealing slurry injection

Après le scellement de la dalle, l'espace restant autour de la dalle a été rempli avec le béton de chaussée BC5, comme précédemment.

Programme expérimental et premiers résultats de l'essai manège

Conditions générales de l'essai

Le programme d'essai prévoit de réaliser 1 million de chargements, avec des demi-essieux à roues jumelées, chargés à 50 kN durant les 100 000 premiers passages, puis à 65 kN pendant le reste de l'essai. Cela représente un trafic d'environ 150 bus par jour pendant 20 ans, et correspond à 250 000 tours du manège, réalisés au rayon de 19 m. Un balayage réduit des charges est appliqué, (largeur de bande de roulement de 0,8 m), pour simuler le trafic canalisé des bus.

La vitesse de rotation du manège appliquée en régime normal est de 5 tours/minute, ce qui correspond à une vitesse linéaire de 35,8 km/h environ au rayon 19 m. Des vitesses inférieures ont également été appliquées lors de mesures spécifiques. Par contre, il a été décidé de ne pas tourner à des vitesses plus élevées pour éviter les effets dynamiques sur les modules de chargement du manège, en raison de la moindre planéité de la chaussée en dalles béton par rapport à une chaussée bitumeuse classique.

Concernant les conditions climatiques, pendant la période d'analyse de l'essai

manège en cours (entre février et avril 2013), les températures dans les dalles béton (à - 12 cm de profondeur) étaient comprises entre 5 °C et 15 °C. Cette période a également été marquée par une pluviométrie importante.

Paramètres mesurés pendant l'essai

L'instrumentation de la chaussée expérimentale comprend principalement des mesures de surface sur les joints entre les dalles et la partie de chaussée béton. Ces mesures permettent de suivre l'évolution du mouvement des dalles sous le passage des charges. Trois dispositifs sont utilisés (photo 5) :

- Une poutre équipée de 2 capteurs LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*), qui mesure les déflexions des 2 côtés du joint entre la dalle et la chaussée béton, par rapport à un point d'appui fixe, situé à environ 2 m. Cette poutre réalise des mesures uniquement à vitesse lente (1 tour/minute). Elle peut être déplacée, pour suivre, à tour de rôle, les déflexions au niveau des différents joints.

- Un système de capteurs LVDT est également installé à proximité du joint de chaque dalle, pour mesurer le mouvement relatif (battement) entre la dalle et la chaussée béton. Ces capteurs peuvent fonctionner quelle que soit la vitesse du manège.

- Pour mesurer également les déflexions à vitesses élevées, quatre géophones ont été installés sur la dalle C. Ces géophones, collés des deux côtés de chaque joint de la dalle C mesurent les vitesses de déplacement vertical au passage des charges, et permettent de retrouver, par intégration, les déflexions en ces points.

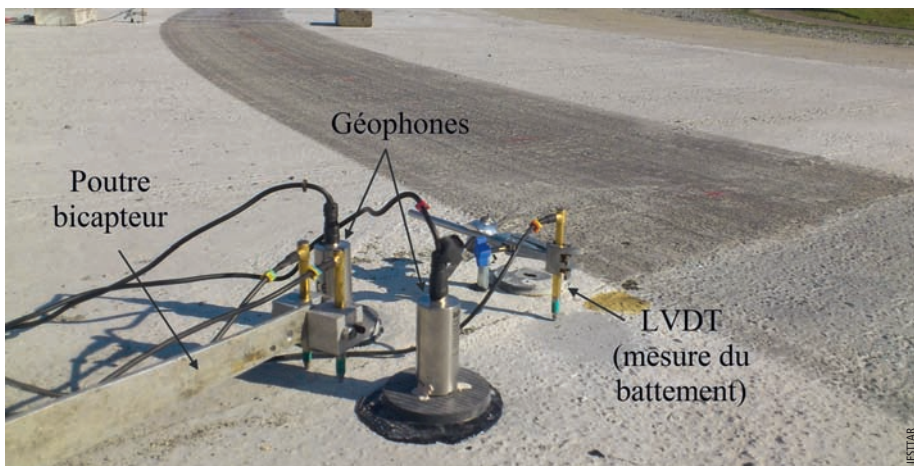


Photo 5
Dispositifs de mesure de déplacement au niveau du joint de dalle
System measures displacement at slab joint

Des séries d'essais *FWD* (*Falling Weight Deflectometer*) sont également prévues pour évaluer la réponse des dalles expérimentales à différents moments de l'essai manège.

Etant donné la difficulté d'instrumenter sur site les dalles préfabriquées, de grandes dimensions, (4 tonnes pour la petite dalle, et 7 tonnes pour la dalle standard), transportées par camion d'Allemagne juste avant la mise en place, seules deux jauges de déformation ont pu être collées à la surface inférieure de la dalle A, au milieu et près de chaque bord latéral, dans le sens longitudinal.

Ces jauges permettront d'évaluer la déformation dans la dalle à ces endroits.

En ce qui concerne la plate-forme, trois capteurs de déformations verticales ont été installés sur la partie supérieure de la couche de GNT, en dessous de chacune des trois dalles B, C et D et permettront de suivre l'évolution des déformations verticales de la fondation en dessous de ces dalles. Deux profils de capteurs de température, l'un dans la dalle C et l'autre dans la chaussée béton, ont été installés à cinq profondeurs différentes (à savoir 0, - 12 cm, - 24 cm, - 29 cm, - 34 cm et - 44 cm).

Le bon fonctionnement des câbles électriques intégrés dans les dalles est également contrôlé par Bombardier, à différentes étapes de l'essai manège.

A la fin de l'essai manège, il est prévu de réaliser des investigations détaillées, et de prélever des carottes ou des plaques de matériaux pour vérifier différents aspects : conditions de contact sous les dalles ou aux endroits contenant des câbles électriques, détériorations ou fissuration éventuelle des dalles, propriétés mécaniques des bétons et du coulis de scellement.

Premiers résultats expérimentaux

Du 1^{er} février au 4 avril 2013, environ 260 000 chargements ont été réalisés sur le manège. Des mesures des différents capteurs ont été enregistrées à 10 000, 50 000, 100 000 et 260 000 chargements. Les températures de chaussée ont été suivies en continu, depuis le démarrage de l'essai. Une série d'essais *FWD* a été effectuée en début des rotations. L'état visuel des dalles est également contrôlé régulièrement, et pour le moment, aucune dégradation de surface n'a été observée.

Les évolutions des déflexions des dalles, ainsi que des exemples de mesures réalisées avec les géophones et les jauges sont présentés ci-après.

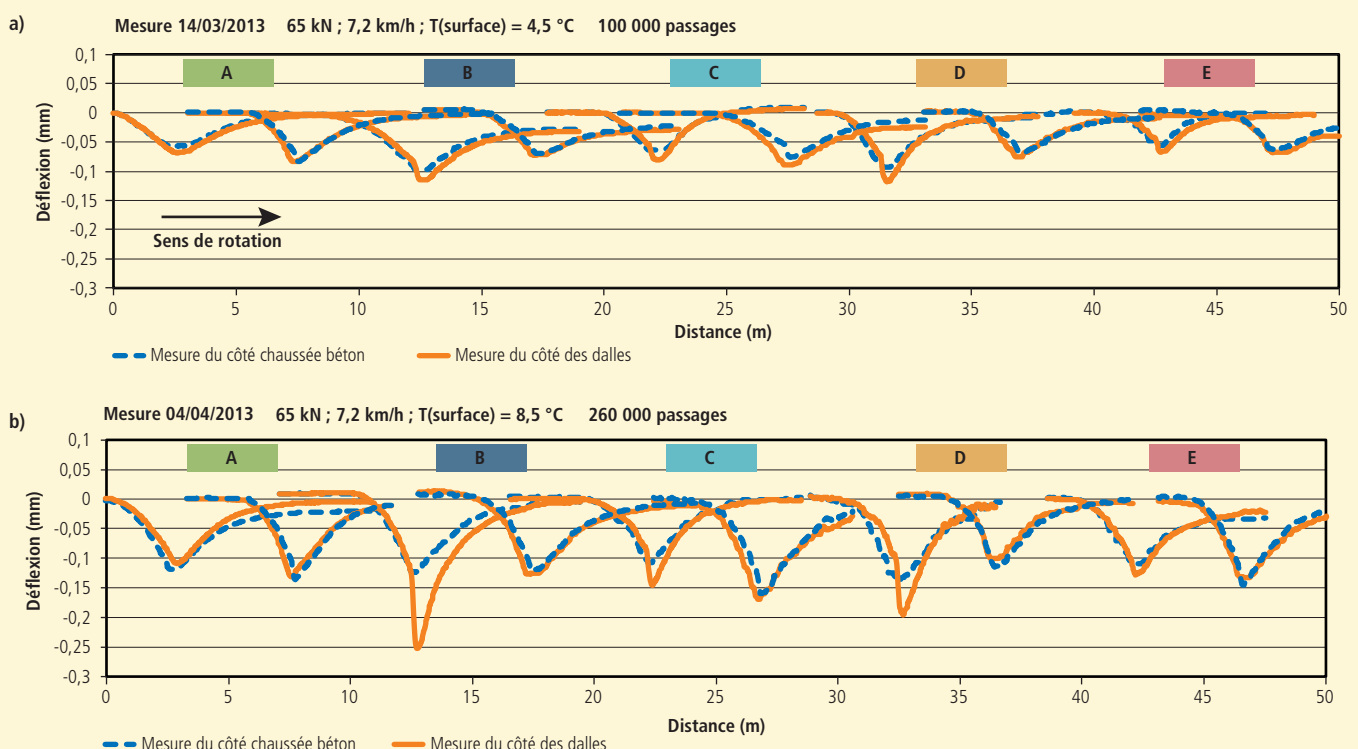


Figure 3
Mesures de déflexion des deux côtés de chaque joint (à la poutre bicapteur) : a) à 100 000 passages ; b) à 260 000 passages
Deflection measurements on each side of joint (with bi-sensor beam): a) after 100,000 passages; b) after 260,000 passages

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

La figure 3 résume les déflexions mesurées avec la poutre bicapteur, au niveau des joints dalle – chaussée béton, à 100 000 passages et ensuite à 260 000 passages. Ces mesures ont été réalisées successivement au niveau de tous les joints, en déplaçant la poutre, sur une durée de deux heures environ.

A 100 000 passages

On observe que :

- Les signaux de déflexion sont très similaires au niveau de tous les joints, et il y a très peu de différence entre les mesures effectuées du côté de la chaussée béton de remplissage et du côté des dalles préfabriquées, indiquant une bonne continuité de la structure.
- Les niveaux de déflexion obtenus sont faibles, compris entre 6 mm/100 et 12 mm/100. Ces valeurs sont du même niveau que celle obtenue par modélisation Alizé (donc dans l'hypothèse d'une structure continue, sans joints), qui était de 11 mm/100.

• On peut cependant noter des déflexions un peu plus élevées au niveau du joint amont des dalles B et D (dans la direction de circulation des charges).

A 260 000 passages

Il y a clairement une augmentation des déflexions, indiquant probablement une baisse de rigidité du support au niveau des joints :

- Sur la plupart des joints, les déflexions sont comprises entre 10 mm/100 et 16 mm/100, et du même niveau des 2 côtés du joint.
- Sur les joints amont des dalles B et D, par contre, on observe des différences plus importantes entre les mesures effectuées côté chaussée béton et côté dalles. Cela indique des battements plus élevés des dalles, confirmant une évolution de ce qui a été observé à 100 000 passages. Les déflexions mesurées du côté des dalles atteignent 25 mm/100 pour la dalle B et 20 mm/100 pour la dalle D.

On peut constater que le battement n'évolue qu'aux joints amont des dalles (B et D pour le moment). Ce phénomène peut être expliqué par le fait que lorsque la charge arrive sur le joint amont de dalle, elle va créer des chocs à cause des défauts d'uni au joint. Le support sous la partie amont de dalle se dégrade ainsi plus rapidement avec l'augmentation du nombre de passages. Par contre, en aval de dalle, la décharge s'effectue plus progressivement, sans choc.

La figure 4 présente un exemple de mesure type de déflexion à l'aide des géophones collés des deux côtés de chaque joint de la dalle C. On remarque des vibrations importantes (dus à des effets dynamiques) sur cette mesure, réalisée au passage de la charge sur la chaussée béton, à une vitesse de 35,8 km/h. L'analyse en cours permettra de mieux comprendre le comportement dynamique de la dalle à cette vitesse.

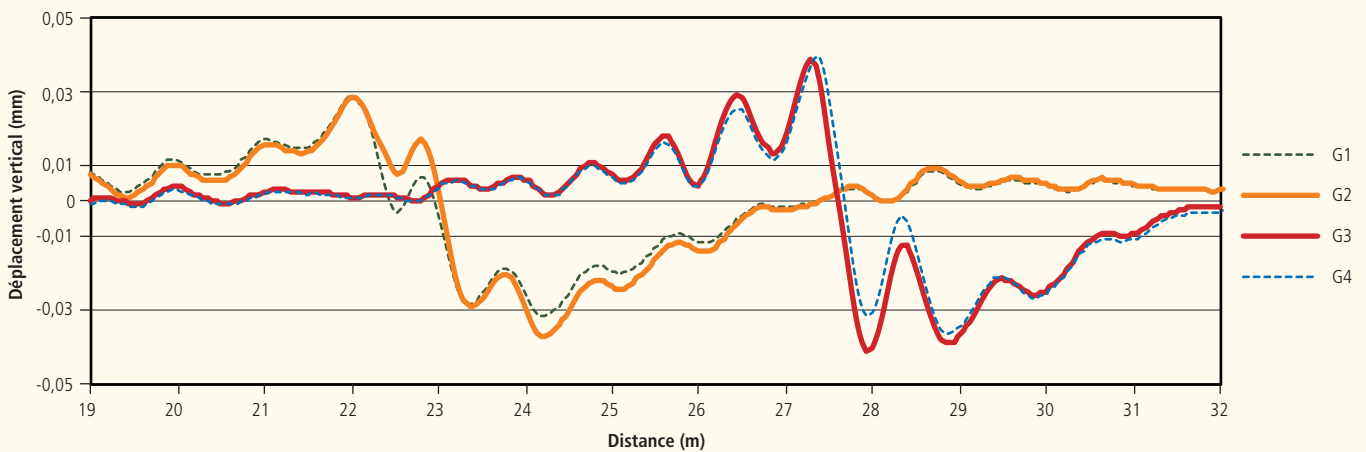


Figure 4
Exemple des signaux géophones mesurés des deux côtés de chaque joint de la dalle C au passage du jumelage 65 kN à une vitesse de 35,8 km/h, à 100 000 passages
Example of geophone signals measured on both sides of slab C joint upon passage of 65-kN dual wheels at a speed of 35.8 km/h, after 100,000 passages

IFSTTAR

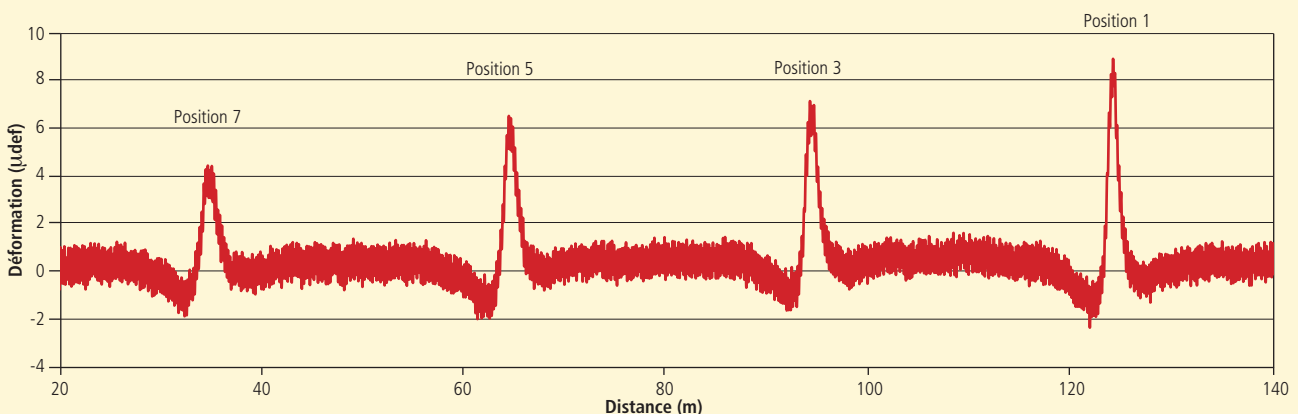


Figure 5
Exemple du signal type mesuré par une jauge de déformation collée sous la dalle A au passage du jumelage de 65 kN à 260 000 passages
Example of typical signal measured by a deformation gauge placed under slab A upon passage of 65-kN after 260,000 passages

IFSTTAR

Un signal type de déformation mesuré au moyen d'une jauge collée sur la face inférieure de la dalle A est présenté sur la figure 5. Lors de cette mesure, les quatre modules de charge, équipés de roues jumelées (tous chargés à 65 kN) étaient placés respectivement aux positions transversales P1, P3, P5 et P7 (correspondant à des rayons de 18,5 ; 18,7 ; 18,9 et 19,1 m) et tournaient à une vitesse de 5 tours/minute. En sachant que la jauge (n° 2) se trouve au rayon 17,85 m (en bord de dalle), on constate que plus la charge s'approche de la position de la jauge (0,65 m minimum correspondant à la position P1), plus le niveau de déformation est grand. Ici, on constate que les niveaux de déformation restent très faibles (la valeur maximale est de 9 µdéf, pour la position P1). La connaissance de la déformation de la dalle permettra de réaliser des comparaisons avec des calculs aux éléments finis, à l'aide du code César-Lcpc, pour reproduire précisément le comportement de la dalle béton préfabriquée.

Conclusions et perspectives

Cette expérimentation confirme le grand intérêt du manège de fatigue de l'IFSTTAR pour tester une solution innovante de route électrifiée, qui représente une solution très prometteuse pour l'alimentation des véhicules électriques en milieu urbain. Une solution de chaussée destinée à recevoir les dalles contenant le système de recharge des véhicules électriques par induction a été conçue, puis testée sur le manège. Une procédure pratique pour la mise en place de ces dalles en site urbain a également été étudiée et validée par un essai de faisabilité en vraie grandeur.

L'essai manège proprement dit, qui vise à tester ces dalles sous un trafic d'un million d'essieux à roues jumelées, chargés à 130 kN, a démarré en février 2013.

A ce stade, 260 000 chargements ont été effectués, et le suivi des structures sous trafic se poursuit. Les premières mesures menées au cours de l'essai manège montrent des résultats satisfaisants :

- Le taux de travail des dalles et le battement aux joints restent faibles, et conformes aux simulations. On a seulement constaté une légère augmentation du battement de quelques dalles avec le trafic.
- Le système d'alimentation électrique des 5 dalles testées fonctionne également correctement, et n'a subi aucun endommagement après 260 000 passages.
- A ce stade, aucune dégradation de surface n'a été observée sur les dalles.

L'essai manège sera poursuivi jusqu'à 1 million de chargements et, à partir de 500 000 chargements, il est prévu d'installer sur la piste expérimentale une nouvelle dalle préfabriquée, de conception différente des 5 premières. Celle-ci comportera un capot amovible, permettant d'accéder au système d'alimentation électrique après installation de la dalle dans la chaussée.

Un bilan détaillé du comportement des dalles sera réalisé à la fin de l'essai, et permettra à Bombardier de valider et d'améliorer, si nécessaire, sa solution de chaussée électrifiée, avant déploiement sur site. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Beeldens A., Inductive Charging : projet de charge par induction de véhicules électriques, Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), n° 910, mars 2013, pp 46 – 47 www.rgra.fr
- [2] Plaquette de présentation du manège de fatigue des structures routières de l'IFSTTAR : <http://35ans-manege.ifsttar.fr/docs/Plaquette-manegeV1.pdf>
- [3] Sedran T., de Larrard F., Laurent G., Cante D., Pommelet P., Conan J., Réalisation d'une chaussée urbaine démontable (CUD) à dalles emboîtées. Revue générale des routes et des aéroports (RGRA) n° 871, novembre 2008, pp 34 - 37
- [4] Fort T., Evaluation sous trafic lourds des systèmes d'alimentation des tramways par le sol – Essai Alstom, Revue générale des routes et de l'aménagement, n° 914, septembre 2013



Bombardier slab testing on fatigue test track Electric vehicle in-road inductive recharging system

To anticipate the problems posed by today's fast urban growth, the field of transport infrastructures must be innovative. It must consequently meet current and future mobility needs. Bombardier Transportation recently developed its new Primove electric-vehicle (EV) inductive power supply system. This system incorporates, in a precast concrete slab placed in the pavement, electric power supply cables to create an electromagnetic induction field. The inductive power supply system can be used for the rapid recharging of electric vehicles in motion (dynamic charging) or at rest (static charging). The advantage of this technology, which is totally invisible, is that it offers a very practical wireless solution for the charging of electric vehicles, thereby solving problems relating to their operating range. A key aspect of the system is that it ensures the durability of components. Thus, the design of the precast slab which will be stressed under heavy traffic in urban areas and that of the supporting pavement structure, play an important role. In order to evaluate the mechanical performance and durability of the slab, the decision was made to conduct full-scale testing under simulated heavy traffic as allowed by the IFSTTAR fatigue test track in Nantes. This article presents the concept of the precast-slab test pavement, the setup procedure and the monitoring of slabs during tests on the test track.

AUTEURS

Thierry Sedran
Directeur adjoint
Laboratoire matériaux
pour infrastructures de transport (MIT)
IFSTTAR

François de Larrard
Directeur scientifique
Construction durable et partenariats
Lafarge LCR

Jean-Maurice Balay
Chargé de mission
Transport guidé
et dimensionnement des chaussées
IFSTTAR

Jean-Pierre Kerzrého
Ingénieur de recherche
IFSTTAR



Tronçon de CUD à dalles indépendantes, sur le manège de l'Ifsttar, soumis au passage de jumelages de 6,5 tonnes

Un manège pour des chaussées urbaines démontables (CUD)



De 2004 à 2008, l'Ifsttar a piloté une opération de recherche visant à développer des chaussées urbaines démontables (CUD) qui, par définition, peuvent être facilement ouvertes et refermées dans l'intervalle d'environ une demi-journée à l'aide d'un matériel léger de type mini-pelle, tout en préservant leurs qualités d'usage et d'esthétique. Cette recherche a abouti à la réalisation de deux chantiers expérimentaux de CUD, l'un à Saint-Aubin-lès-Elbeuf en 2007 et l'autre à Nantes en 2008. En amont de ces deux succès techniques, une expérimentation sur le manège de fatigue de l'Ifsttar a affiné et validé le concept de CUD. C'est en quelques lignes ce que se propose de décrire le présent article.

Introduction

Les chaussées urbaines remplissent plusieurs fonctions dont, notamment, celles de recouvrir des réseaux en tous genres (eau, assainissement, électricité, télécommunications, ...). Comme il est très difficile d'assurer une parfaite coordination entre tous les gestionnaires de réseaux, ces chaussées sont souvent perturbées par des travaux en tranchées et parfois même, à peine quelques jours après leur construction ou leur rénovation. Ces travaux fréquents sont autant de sources de nuisances : bruit et pollution de l'air pour le voisinage, congestion du trafic et gêne à l'accès aux commerces riverains. De plus, ils dégradent largement l'aspect des chaussées alors même que les aménageurs font des efforts constants pour améliorer l'esthétique des villes.

Une enquête préliminaire auprès d'une quarantaine de collectivités [1] avait montré qu'un tel concept de CUD était a priori très attractif avec les avantages suivants :

- réduction des nuisances aux riverains et aux usagers à cause des travaux ;

- accès rapide aux réseaux ;
- gestion durable de la chaussée : la réversibilité des travaux d'aménagement permet d'adapter la chaussée à un changement de fonction (par exemple, lors de la création d'une rue piétonne) et facilite la gestion de la fin de vie et du recyclage de la voirie ;
- possibilité de réalisation de chaussée réservoir facile à entretenir ;
- facilité d'instrumentation de la chaussée ;
- possibilité de réalisation de chaussée perméable et silencieuse à maintenance facilitée (en usine, par exemple).

Quatre marchés potentiels avaient été identifiés pour ce type de chaussées :

- les centres-villes avec un trafic léger mais des géométries complexes ;
- les boulevards et les périphériques avec un trafic plus sévère (plus de poids lourds et vitesse plus élevée) et des exigences de planéité supérieures ;
- les nouveaux lotissements résidentiels où le trafic est limité et la géométrie peut être adaptée à la construction de la chaussée ;
- les voies de tramways.

Le groupe de travail s'est focalisé sur le troisième cas qui semblait le plus facile à résoudre d'un point de vue technique et pour lequel deux maîtres d'ouvrage avaient accepté de tenter l'expérience : la ville de Saint-Aubin-lès-Elbeuf et Nantes Métropole.

Il ne restait donc plus qu'à développer des solutions opérationnelles de CUD.

Le concept de CUD retenu

Au démarrage du projet, une bibliographie [2] a montré qu'il existait certaines solutions de chaussées démontables faisant appel au pavage, à la préfabrication ou au métal pour les routes provisoires militaires. Finalement, après analyse, le groupe de travail a retenu le principe général suivant pour une structure de CUD, de bas en haut [3] :

- une plate-forme PF2 ou PF3 ;
- une couche de grave-ciment (GC) excavable. Elle doit résister au trafic tout en présentant des performances suffisamment faibles pour être excavée à l'aide d'une pelle mécanique de 7,5 tonnes

(à l'instar des produits fluides de remblayage [4]). Ce type de matériau lié a été préféré à une grave non traitée (GNT), car il permet d'obtenir des bords de tranchées francs et stables, sans surlargeur de fouille, ni étalement ;

- une étanchéité (émulsion de bitume gravillonnée) ;
- un lit de gravillons permettant la mise en place des dalles et assurant le drainage de la structure ;
- et enfin, une couche de roulement composée d'hexagones en béton de type BC5. En effet, il est possible de paver une surface avec des hexagones d'une seule taille. De plus, un hexagone ne présente pas d'angles aigus, dont on sait, par l'expérience acquise sur les dalles rectangulaires, qu'ils sont les points faibles de ce type d'élément modulaire.

A titre d'illustration, deux exemples de structures CUD sont présentés sur les figures 1 et 2. Elles se différencient par la forme des dalles hexagonales.

Complètement indépendantes dans le premier cas, les dalles sont munies de languettes dans le second cas afin de résister à un trafic plus lourd.

La mise au point de la CUD sur le manège de fatigue

La solution en dalles indépendantes a été la première étudiée et a fait l'objet d'une campagne de mise au point sur le manège de l'fsttar. Une fois le principe constructif choisi, il a fallu, dans un premier temps, développer une GC excavable en laboratoire et vérifier sa faisabilité sur chantier. Ce développement est détaillé dans le rapport du projet [5].

Dans un second temps, des simulations numériques 3D ont été réalisées pour évaluer les contraintes induites par le trafic dans les dalles et l'assise en GC.

Les contraintes admissibles par ces éléments ont été définies selon la méthode française de dimensionnement [6]. On en a déduit les dimensions minimales théoriques des dalles et de la couche d'assise. Le trafic envisagé correspondait à 120 000 poids lourds sur une durée de vie de 30 ans (soit 20 PL/jour pendant la phase chantier et 10 PL/j en service). Les calculs ont ainsi conduit à une épaisseur de 20 cm pour les dalles, et 60 cm pour la grave excavable. La méthode de dimensionnement, validée pour des matériaux plus rigides, semble toutefois particulièrement sécuritaire pour la grave excavable. C'est pourquoi dans un premier temps l'expérimentation sur le manège a été réalisée avec une épaisseur de GC réduite à 38 cm.

S'il était important de vérifier la tenue mécanique de la structure CUD, l'essai sur manège avait pour but de résoudre un nombre important de problèmes technologiques difficilement accessibles autrement que par l'expérience, et particulièrement les choix relatifs à :

- une méthode de pose des dalles ;
- une optimisation de la forme des dalles ;
- un lit de pose en gravillons entre les dalles et la couche d'assise ;
- un joint entre les dalles pour limiter la pénétration d'eau et la pollution du lit de calage.

Dans un premier temps, un lit de pose de 7 cm d'épaisseur moyenne, en gravillons 2/4 mm a été utilisé pour positionner les dalles. Cette granulométrie avait été choisie pour sa facilité de manutention et de réglage.

Dès les premiers passages de roues effectués à basse vitesse (4,5 km/h), on a pu constater un basculement des dalles d'environ 1 cm du côté aval lorsque la charge se trouvait à l'aplomb du côté amont et vice versa. Ce mouvement était dû à un mauvais appui des dalles qui reposaient préférentiellement sur la zone centrale. On a observé à cette occasion un profil bombé en sous-face des dalles provenant probablement d'un défaut de planéité du coffrage. Pour remédier à ce défaut, on a tenté de vibrer les dalles pour améliorer la répartition du lit de pose sous-jacent. Cela s'est avéré infructueux. On a donc repositionné les dalles en mettant un cordon de gravillons plus épais sur le pourtour des dalles. Cette solution a stabilisé le basculement des dalles à moins de 1 mm pendant 26 000 tours de manège. Toutefois, pour simuler des conditions de pluviométrie importantes, il a été décidé d'arroser la planche expérimentale. Très rapidement (en 3 000 tours environ), les dalles ont de nouveau

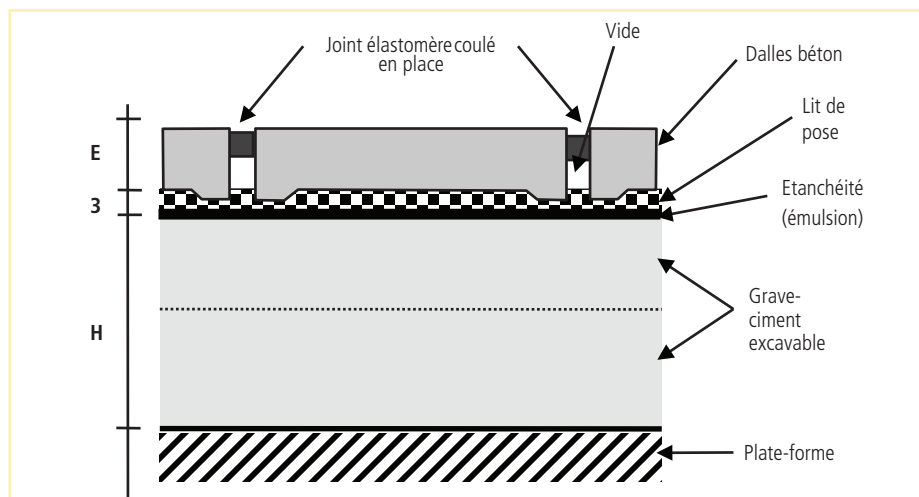


Figure 1
Coupe transversale d'une CUD à dalles indépendantes (solution Saint-Aubin-lès-Elbeuf)

IFSTTAR

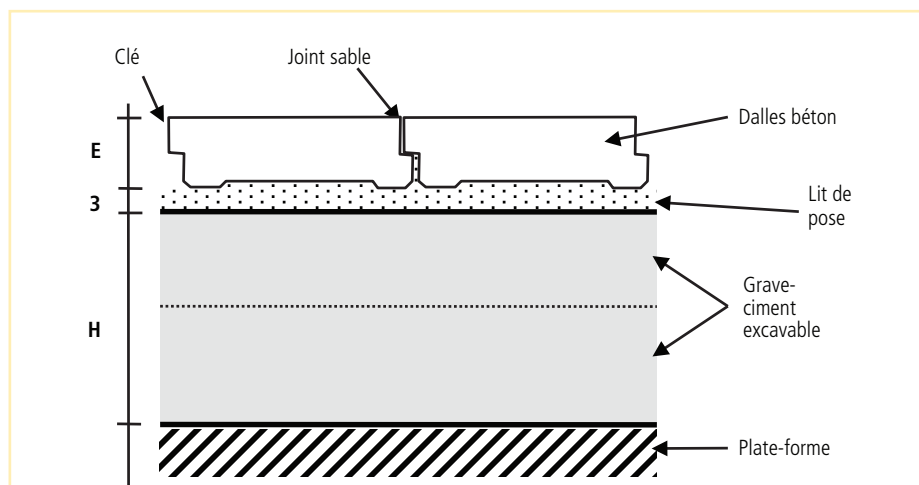


Figure 2
Coupe transversale d'une CUD à dalles emboîtées (solution Nantes Métropole)

IFSTTAR

Dossier IFSTTAR : Les 35 ans du manège de fatigue français

présenté des basculements importants de 1 à 2 cm, mais également des décalages conséquents d'une dalle à l'autre, après le passage des roues du manège. Ces mouvements ont conduit à l'expulsion du joint qui avait été initialement sélectionné (photo 1). Il s'agissait d'un joint souple préfabriqué en élastomère, de section en forme de harpon, qui était inséré en force entre les dalles.



Photo 1
Extrusion du joint préfabriqué liée aux mouvements des dalles sous chargement

Sur la base de ces essais et d'ajustements progressifs, quatre améliorations ont été apportées à la structure :

- Afin de stabiliser les dalles, il est souhaitable qu'elles s'appuient préférentiellement sur leur pourtour hexagonal. A cet effet, les dalles doivent présenter un évidement en leur centre en sous-face, comme indiqué sur la figure 1. Afin d'utiliser les dalles prototypes qui avaient été coulées préalablement, on a procédé à leur rabotage (photo 2).
- L'épaisseur du lit de pose a été réduite à 3 cm pour éviter des variations trop importantes d'épaisseur conduisant à des défauts d'uni sous chargement.
- Les gravillons 2/4 mm ont été remplacés par des gravillons 6/10 mm afin d'assurer une meilleure drainabilité au lit de pose ainsi que son caractère frottant.
- Un joint liquide a été coulé entre les dalles. Après polymérisation, ce joint reste souple et colle aux dalles.



Photo 2
Rabotage de la partie centrale inférieure des dalles prototypes CUD

A l'issue de 120 000 passages de roues, la structure a, cette fois-ci, montré un comportement satisfaisant sans dommage visible :

- Stabilité relative avec un tassement global des dalles de 5 à 8 mm qui se maintient au cours des cycles.
- Battements faibles des dalles, inférieurs à 1,5 mm, qui, combinés à la présence des joints souples, semblent limiter les risques de nuisance sonore, dans le contexte d'un lotissement où la circulation est à vitesse modérée.
- Pas de fissuration apparente dans les dalles ni dans la GC (après démontage).

Les essais sur manège se sont déroulés sur environ un an et demi, depuis la construction de la première structure jusqu'à la validation de la solution finalement retenue après 120 000 cycles de chargement au jumelage de 6,5 t.

Le détail des essais sur manège résumés dans cet article, est décrit dans le rapport du projet [5].

A noter que lors du démontage, l'essai a permis de vérifier en conditions de chantier que la GC développée en laboratoire lors de ce projet était bien excavable (photo 3).



Photo 3
Réalisation aisée d'une tranchée dans la grave-ciment excavable, à l'aide d'une pelle mécanique

Développement de la technique

A l'issue de ces essais sur manège, deux chantiers ont été réalisés et, à ce jour, les deux structures se comportent de façon satisfaisante :

- 630 m² à Saint-Aubin-lès-Elbeuf, réalisés en 2007, à l'aide de dalles hexagonales indépendantes de 77 cm de côté et d'environ 750 kg, séparées par des joints souples en élastomère, coulés en place (photos 4 et 5).
- 100 m² à Nantes Métropole, réalisés en 2008, à l'aide de dalles hexagonales emboîtées de 46 cm de côté et d'environ 250 kg (photos 6 et 7).



Photo 4
Vue de la CUD de Saint-Aubin-lès-Elbeuf



Photo 5
Démontage de la CUD de Saint-Aubin-lès-Elbeuf



Photo 6
Vue de la CUD de Nantes Métropole



Photo 7
Démontage de la CUD de Nantes Métropole

En complément de ces deux chantiers, deux documents principaux ont été rédigés afin de développer la technique des CUD :

- Un guide [3] à destination des prescripteurs et des entreprises. Il contient des dimensionnements type ainsi que des conseils pour la fabrication des matériaux et des éléments modulaires, la mise en place de la chaussée, le contrôle du chantier et les opérations d'ouverture fermeture.
- Un rapport détaillé [5] des expérimentations en laboratoire, sur manège et sur chantiers.
- Un nombre important d'articles sont également disponibles [2, 7 et 8].
- Une partie importante de ces documents est librement accessible sur le site <http://heberge.lcpc.fr/CUD>

Conclusion sur l'intérêt du manège

Avec cette expérience sur manège, il a donc été possible de tester dans un délai relativement court, moins de 18 mois, plusieurs configurations de CUD avec dalles indépendantes. Ces essais ont permis d'affiner et de valider la solution technique de base développée en vue du chantier de Saint-Aubin-lès-Elbeuf.

On a ainsi optimisé la forme des dalles, le lit de pose en gravillons et la pose du joint entre les dalles. Enfin, on a vérifié en quelques semaines que la solution retenue se comportait bien sous 120 000 passages de poids lourds, représentant le trafic attendu sur 30 ans. En l'absence d'un tel outil, il faudrait, pour acquérir ce type d'information, des périodes très longues d'observation sur les chaussées réelles. De plus, l'utilisation du manège permet d'intervenir sur la structure et de modifier un paramètre à n'importe quel moment sans que cela ne gêne des usagers ou des riverains.

Finalement, cet essai se justifie pleinement a posteriori car il a permis d'identifier des verrous technologiques qui étaient difficilement prévisibles autrement que par l'expérience, et surtout de les lever rapidement. C'est ainsi que les chantiers en sites réels se sont bien déroulés et ont été des succès techniques. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Maribas J., Vulcano – Greullet N., de Larrard F. (2004), "Des chaussées urbaines démontables", Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) n° 834, pp 74-76 décembre 2004 - janvier 2005 www.rgra.fr
- [2] Ferrand J., Duffait J., Jossierand L., de Larrard F. (2003), "Les chaussées urbaines démontables - Etude bibliographique", rapport interne LCPC (disponible sur <http://heberge.lcpc.fr/cud/>)
- [3] Collectif, (2008), " Chaussées urbaines démontables – Guide technique 2008 ", CERTU-CIMBETON-LCPC, édité par le CERTU, 41 p., décembre. Accessible en téléchargement gratuit sur <http://heberge.lcpc.fr/cud>
- [4] Bonnet G., Gavalda A., Quibel A., (1998), "Remblayage des tranchées – Utilisation de matériaux autocompactants ", Dossier CERTU N° 78, 36 pages, avril
- [5] de Larrard F., ed., (2009), "Expérimentations sur les chaussées urbaines démontables", Etude et recherches de LCPC, EG n° 22
- [6] LCPC-Setra, (1994) "Conception et dimensionnement des structures de chaussées", Guide technique Setra, décembre
- [7] de Larrard F., Masson J.-M., Bélouard R., Laurent G., Leroux A., Maribas J., Sagnard N., Bruny S., Grin L., Abdo J., Brissaud L., (2007) " Les chaussées urbaines démontables: une nouvelle technologie pour des chantiersfurtifs ", Congrès de l'Association mondiale de la route (AIPCR), Paris, septembre
- [8] Sedran T., de Larrard F., Laurent G., Cante D., Pommelet P., Conan J., "Réalisation d'une chaussée urbaine démontable (CUD) à dalles emboîtées", Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) n° 871, pp 34-37, novembre 2008 www.rgra.fr



■ VÉHICULES ÉLECTRIQUES Création de Gireve

La Caisse des Dépôts, la Compagnie nationale du Rhône (CNR), EDF, ERDF, et Renault ont créé en juillet 2013, la société Gireve SAS, groupement pour l'itinérance des recharges électriques de véhicules, conformément à l'accord qui avait été signé en octobre dernier sous l'égide des ministres du Redressement productif, de l'Environnement et des Transports, à l'occasion du lancement de la mission Hirtzman.

Les associés ont nommé Gilles Bernard, président des comités d'orientation et consultatif, et Bruno Lebrun, président de la société.

L'objectif de Gireve est de faciliter l'usage des bornes de recharge électrique d'accès public, en les rendant visibles, accessibles et interopérables pour tous les utilisateurs, levant ainsi une des barrières au développement de l'électromobilité en France et en Europe.

Pour un bouquet de services « à la carte »

Gireve constituera une plate-forme commune de gestion de données, au service des acteurs de l'électromobilité, afin de faciliter le développement de services liés à la recharge des véhicules électriques :

- localisation des bornes d'accès public via les services de navigation sur GPS, Smartphones, ou Internet ;
- information sur leur disponibilité, possibilité de les réserver ;
- possibilité d'y accéder et de payer la recharge, même lorsque la borne n'est pas exploitée par l'opérateur habituel de l'utilisateur ;
- et tout autre service rendu possible grâce à des transactions entre opérateurs au sein de cette plate-forme.

Les utilisateurs pourront ainsi recharger leur véhicule en toute liberté, ce qui favorisera l'électromobilité et augmentera l'usage des bornes de recharges.

Un vaste travail de concertation

Gireve assurera la concertation avec tous les acteurs intéressés en France et à l'étranger, en vue d'adapter ses services aux besoins et d'assurer la compatibilité des solutions avec l'écosystème de la mobilité électrique qu'il contribuera à faire émerger.

Le répertoire national des bornes, qui va en premier lieu être créé, mettra à disposition des opérateurs des données précises pour développer leurs services aux utilisateurs. Des standards d'échanges de données compatibles avec les autres pays européens seront déployés pour favoriser la communication entre opérateurs étendue aux déplacements transfrontaliers.

Gireve se proposera d'appuyer les collectivités locales dans leurs projets, ainsi que les aménageurs d'infrastructure de recharge, pour assurer la compatibilité des solutions avec les standards d'interopérabilité et enregistrer les données dans la plate-forme d'échanges.

■ NISSAN TESTE LA CONDUITE AUTONOME POUR 2020

Nissan effectue les premières démonstrations technologiques visant à faire de la conduite autonome une réalité. Le système du constructeur automobile japonais est conçu pour fonctionner dans un large éventail de situations de conduite réelles.

La recherche repose sur plusieurs facteurs :

- l'intégration poussée de systèmes réalisée par les ingénieurs de la marque,
- la réduction des coûts rendant accessible un tel véhicule dans le futur,
- et de nouvelles avancées en matière de capteurs et d'intelligence embarqués.

Nissan étudie désormais des solutions technologiques pour faire face à des situations stressantes (circulation urbaine, monotonie de l'autoroute). La conduite autonome est synonyme de temps passé au volant plus sûr, plus économe en carburant et, finalement, plus agréable lors de trajets fastidieux. « Nissan complète sa longue série de premières technologiques en passant à l'étape suivante », explique Carlos Ghosn, président. « Des véhicules à conduite autonome à des prix accessibles seront possibles d'ici à 2020. En 2007, nous avons dit que nous ferions la LEAF 100 % électrique, et nous l'avons faite. Nous annonçons aujourd'hui la conduite autonome et nous la ferons ».

Avec la conduite autonome, Nissan possède aujourd'hui les technologies nécessaires pour détecter et pallier les situations qui engendrent ces accidents. Elle est synonyme d'une moindre intervention de la part du conducteur ; elle place conducteur et véhicule en relation dans un seul but : sécuriser les déplacements.

Grâce à onze avancées majeures en matière de technologies de capteurs et d'intelligence artificielle, le véhicule détecte son environnement sur 360°. Il est capable de faire face instantanément aux évolutions de la circulation tout en progressant précisément.

La conduite autonome Nissan introduit notamment plusieurs technologies avancées inédites, dont :

- le contrôle de distance latérale (autoroute),
- l'entrée dans les intersections et le changement de direction tout en surveillant les véhicules en approche (ville),
- le dépassement tout en surveillant les véhicules en approche (ville).

Prochaine étape pour Nissan : intégrer ces technologies dans un véhicule accessible d'ici à 2020.

■ DU NOUVEAU DANS L'ACCESSIBILITÉ

Le Centre de ressources de l'accessibilité met à disposition de l'ensemble des acteurs (architectes, bureaux d'études, collectivités territoriales, commerçants et autres maîtres d'ouvrage, particuliers) toutes les ressources existantes en matière d'accessibilité et de conception universelle.

Il bénéficie d'une adresse Internet intuitive : www.accessibilite.gouv.fr

Y sont capitalisées toutes les informations utiles aux différents acteurs de l'accessibilité : guides pratiques, techniques ou méthodologiques, réglementations et normes, présentation d'initiatives intéressantes et de bonnes pratiques.

Toutes les manifestations relatives à l'accessibilité sont également référencées dans l'Agenda de l'accessibilité.

Le Centre de ressources a récemment été doté d'une rubrique intitulée « Degré d'accessibilité de la Cité », qui regroupe les bases de données ou outils collaboratifs créés pour informer sur le niveau d'accessibilité de bâtiments, de structures, d'équipements, etc.

Il est structuré autour de six domaines essentiels :

- le cadre bâti ;
- la voirie ;
- le transport ;
- la culture, le sport et les loisirs ;
- les nouvelles technologies ;
- et la conception universelle.

Une entrée par type de public est prévue, présentant les principales informations selon que les internautes sont un élu ou un agent de collectivité locale, un commerçant ou un particulier.

Le Centre est placé sous la responsabilité de l'Observatoire interministériel de l'accessibilité et de la conception universelle - instance, présidée par Philippe Bas.

Sa gestion est confiée à la délégation ministérielle à l'accessibilité (DMA) du ministère de l'Égalité des territoires (METL) et du ministère de l'Écologie (MEDDE).

■ MINES ET CARRIÈRES Nouveau décret en matière de poussières alvéolaires

Le décret n° 2013-797 du 30 août 2013 fixant certains compléments et adaptations spécifiques au Code du travail pour les mines et carrières en matière de poussières alvéolaires a été publié le 1^{er} septembre au Journal officiel

Il concerne les travailleurs et employeurs des entreprises et établissements relevant des mines, des carrières et de leurs dépendances et a pour objet la protection des travailleurs des entreprises et établissements relevant des mines, des carrières et de leurs dépendances en matière d'exposition à la poussière et en particulier aux poussières de silice cristalline.

Le décret entre en vigueur le lendemain de sa publication, à l'exception de ses articles 2 à 6 qui seront en vigueur le 1^{er} janvier 2014.

Il remplace les dispositions correspondantes qui figuraient jusqu'alors dans le règlement général des industries extractives (RGIE), en matière d'empoussiérement. L'article 2 fixe à 5 milligrammes par mètre cube d'air la valeur maximale de la concentration moyenne en poussières alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un travailleur, évaluée sur une période de huit heures, dans l'ensemble des lieux de travail situés à l'extérieur. L'article 3 oblige les employeurs à identifier les sources d'émission de poussières et à mettre en place de manière permanente des moyens propres à éviter leur propagation dans l'atmosphère des lieux de travail qui se trouvent à l'extérieur. L'article 4 impose à l'employeur de prendre des mesures immédiates en cas de dépassement constaté de la valeur limite d'exposition à des poussières alvéolaires contenant à la fois de la silice cristalline

et d'autres poussières alvéolaires non silicogènes, fixée à l'article R. 4412-154 du Code du travail. Les articles 5, 6 et 7 imposent que les informations que l'employeur doit fournir aux travailleurs concernant les risques d'exposition aux poussières, au bruit et aux vibrations mécaniques soient regroupées dans un dossier de prescriptions et exposées de façon pédagogique. Le décret est pris en application de l'article L.4111-4 du Code du travail. Il peut être consulté sur le site Légifrance : www.legifrance.gouv.fr

■ UNIBÉTON Formation aux techniques de mise en œuvre du béton empreinte

De plus en plus plébiscité en décoration, le béton offre de multiples possibilités d'agencements intérieurs ou extérieurs. Doté de nombreux atouts en termes d'esthétisme, de résistance et d'entretien, le béton décoratif est devenu en quelques années un marché à fort potentiel. Accompagnant cette tendance, Unibéton et Moderne Méthode, fournisseur de solutions innovantes pour bétons décoratifs, allient leurs compétences en proposant des sessions de formation à l'attention des professionnels. A travers cette démarche, Unibéton entend créer un réseau d'applicateurs et proposer une gamme de produits toujours plus variés et innovants.



Les sessions de formation aux techniques de mise en œuvre du béton empreinte connaissent un vif succès auprès des professionnels

Béton empreinte : expertise exigée

Appartenant à la famille des bétons décoratifs, le béton empreinte ou imprimé requiert une haute expertise dans sa mise en œuvre qui ne s'improvise pas. Fournisseur reconnu sur le marché des produits pour bétons décoratifs, la société Moderne Méthode, basée à Saint-Souplets (77) propose une large gamme de solutions innovantes pour bétons décoratifs. Mettant à profit une longue carrière à l'international dans le secteur de ces bétons pas comme les autres, les associés ont créé la *Béton Academy*, une filiale entièrement dédiée à la formation. Une approche résolument didactique avec pour vocation première « de démocratiser le béton décoratif à l'attention des prescripteurs en France et de transmettre un savoir-faire spécifique aux professionnels », souligne Frédéric Llung, l'un des dirigeants. S'inscrivant au sein de cette philosophie de la transmission, le site Unibéton de Pessac (33) a accueilli, en mai dernier, 20 stagiaires à l'occasion de la 3^e session de formation au béton empreinte organisée par Unibéton région Sud-ouest, une opportunité pour les artisans issus de divers horizons de diversifier leur savoir-faire et se former aux techniques de mise en œuvre de ce procédé. Animée par des techniciens experts de la *Béton Academy*, cette initiation pratique de deux jours est revenue sur les techniques et principes de mise en œuvre du béton empreinte, dans le respect des règles de l'art et des consignes de sécurité. Du côté des professionnels de la maçonnerie, cette formation s'inscrit dans une démarche de diversification de leurs activités, pour qu'ils proposent un savoir-faire très prisé sur un marché en plein essor. Face au succès de cette formation, Unibéton, en partenariat avec Moderne Méthode, organise une prochaine session d'initiation à la technique du béton empreinte les 17 et 18 octobre prochain sur le site Unibéton de Guerville (78).

*Walter & Poiroux
par essi*

les bitumes eni la technologie au service de la route

- performances élevées • résistance et dureté • confort et sécurité

Pour tous les types de revêtements, les bitumes eni représentent la solution optimale pour une meilleure mobilité. Les bitumes eni sont développés dans nos centres de recherche et sont le fruit d'une longue expérience.

choisir le meilleur pour la route

pour plus d'infos: bitumes@enifrance.fr eni.com

■ HOLLAND FRANCE

Création d'une direction de la Construction durable

Articulée autour de quatre métiers (ciment, béton, granulats, géocycle), la direction de la Construction durable a pour objectif de renforcer l'attention et les actions de la société sur les marchés et sur les besoins des clients afin de leur apporter des solutions durables.

Cette direction sera organisée autour de plusieurs services, dont le marketing, la communication et un centre technique et d'innovations. Elle conforte l'attachement d'Holland France au développement durable, partie intégrante de son ADN depuis de nombreuses années. Ses principales missions sont de renforcer les actions en matière de développement durable et de poursuivre les évolutions et innovations dans les solutions constructives.

L'organisation et la gouvernance d'Holland France répondent ainsi pleinement à son éthique :

- un engagement pérenne de développement durable,
- un pilotage de cette démarche développement durable au sein de toutes les directions et fonctions centrales de l'entreprise afin de coordonner et contrôler les actions mises en place,
- des systèmes de management adaptés et découlant de référentiels existants à ses activités (normes ISO 9001 et ISO 14001 pour l'activité ciment, la « Charte environnement des industries de carrières » pour l'activité granulats).

Inauguration de la centrale à bétons au Luxembourg

Holland France/Luxembourg a inauguré fin septembre sa nouvelle centrale à bétons à Schifflange (Grand Duché du Luxembourg), poursuivant ainsi son développement en Europe de l'Ouest. Un an après la pose de la première pierre, Holland France a tenu son pari d'ouvrir une centrale à bétons de 150 000 m³. Fortement présent dans le nord et l'est de la France avec près de 200 sites de production (toutes activités confondues), Holland France prend une nouvelle dimension en se développant sur la zone franco-luxembourgeoise.

Sur ce site, la société a déployé ses meilleurs standards en matière de développement durable notamment sa politique de 0 rejet : recyclage des eaux de process et des retours de béton, filtres à poussières mais aussi utilisation de ciments recomposés pour limiter son empreinte sur l'environnement.

■ PARTENARIAT ENTRE AUTODESK ET EGIS

Autodesk et Egis ont signé un partenariat personnalisé et unique qui positionne la maquette numérique – le BIM – au cœur de la conception d'infrastructures et de bâtiments tant en France que dans le monde entier.

Autodesk Inc. et Egis, groupe de conseil et d'ingénierie ont annoncé la signature d'un accord de partenariat (*Enterprise Business Agreement*) d'une durée de 3 ans et demi pour le déploiement de technologies Autodesk et l'assistance quotidienne. Cet accord permettra, dans un premier temps, aux 3 000 postes installés, d'accéder à l'ensemble des logiciels d'Autodesk puis, à terme, d'élargir cette opportunité aux autres filiales d'Egis dans le monde entier.

Le projet de construction de la ligne B du métro de Rennes mis en œuvre par Egis utilise d'ores et déjà les solutions technologiques d'Autodesk, plaçant le BIM au cœur d'un travail collaboratif avancé.

■ INGÉROP SE DÉVELOPPE

DANS L'OcéAN INDIEN

Durant l'été, le groupe Ingérop, l'un des leaders français de l'ingénierie, a acquis les sociétés Incom et Atea, ses partenaires à La Réunion depuis près de 30 ans. Par cette acquisition, le groupe, déjà actif tant à La Réunion qu'à Maurice ou Mayotte, dans le secteur des transports, des infrastructures, du génie urbain et de l'énergie, renforce sa présence dans l'Océan Indien pour y développer toute la gamme de ses compétences.

■ ACO : NOUVEAU SITE INTERNET

ACO, spécialiste des systèmes de drainage, lance son nouveau site Internet : www.aco.fr, et met à la disposition de tous un guide de choix interactif dédié aux caniveaux, pour connaître les recommandations d'usage de chaque gamme et choisir le bon produit selon le lieu d'installation, la densité et la vitesse du trafic, etc.

Le site a été pensé pour que les bureaux d'études, architectes, économistes, maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage (grandes villes, sociétés d'autoroutes, SNCF, EDF, RATP, promoteurs immobiliers, ...) trouvent rapidement une solution à leurs problématiques de gestion des eaux pluviales ou usées.

Il a pour objectifs :

- D'offrir des services nouveaux et différenciés aux prescripteurs et aux clients d'ACO.
- D'aider les prescripteurs à trouver une solution ou un produit, grâce à des recherches avancées multicritères ou par besoin.
- De montrer des *showrooms* afin de promouvoir des solutions intégrées.

ACO a refondu ce site autour de 3 idées-forces : service, information produits et interactivité.

Il existe 3 niveaux d'accès : public, Privilège et Premium ou « Club ACO ».

Plus de 2 000 documentations, illustrées par des dessins, schémas, logiciels, etc, y sont référencées.

■ CEMEX INAUGURE SA NOUVELLE UNITÉ DE PRODUCTION DE MERLIMONT

Avec son implantation stratégique à Merlimont (62), la nouvelle unité de production confirme le statut d'acteur du développement de la région de Cemex Bétons. Les points forts de la nouvelle installation sont une capacité de production importante et adaptée aux besoins du marché ainsi qu'un équipement répondant à toutes les exigences en matière de sécurité et d'environnement.

L'unité de production est installée sur 6 700 m² de terrain. Pour le stockage des granulats, elle dispose d'une batterie de 5 trémies en ligne d'une capacité unitaire de 20 tonnes. Les pulvérulents sont conditionnés dans 3 silos de 55 tonnes.

Un local de stockage d'adjuvants, équipé d'un bassin de rétention aux normes anti-pollution, permet de conserver dans 4 cuves (2 de 2 500 litres, 2 de 1 500 litres) les différents adjuvants. Equipée d'un malaxeur de 1,5 m³, l'unité développe une capacité de chargement théorique de 40 m³/heure. Par ailleurs, 2 camions malaxeurs sont affectés à ce site.

Environnement et sécurité : deux priorités

L'unité de production a été conçue pour répondre à toutes les exigences, notamment en matière de respect de l'environnement. Toutes les structures (stockage, bloc malaxeur, ...) sont bardées. Chaque silo dédié au stockage des liants est équipé d'un filtre performant de dernière génération. Associés à des sécurités de remplissage, ces équipements interdisent toute émission de poussière. Concernant la gestion des eaux, un ensemble de bassins avec bac d'égouttage, de décantation et bassin d'eau claire permet le recyclage complet des eaux de process vers la production des bétons ainsi que le lavage du matériel. Enfin, le dallage a été réalisé avec des formes de pentes assurant la séparation des eaux de process et des eaux de ruissellement. « La volonté de Cemex est d'optimiser ses installations tout en préservant l'environnement, la sécurité des hommes et le confort d'utilisation. Plus largement, l'entreprise est engagée dans une démarche de certification ISO 14 001 (système de management environnemental) de l'ensemble de ses unités de production d'ici à fin 2014 », précise Thomas Watrin, directeur de Cemex Bétons Seine-Nord.

■ RECYCLAGE DES DÉCHETS DU BTP

La réalité des chiffres

La cellule économique Rhône-Alpes (CERA) de l'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG) présente les résultats d'une étude menée sur « les volumes et les flux de déchets et matériaux recyclés du BTP ». Ils montrent que l'objectif de 70 % de recyclage en 2020, fixé par la directive européenne de 2008, est à portée de main dans cette région, un constat encourageant pour la filière. Cependant, les professionnels ne s'arrêtent pas là : non contents de recycler plus, ils veulent « recycler mieux ».

En 2008, la directive européenne « déchets » a fixé comme objectif à chaque pays de l'Union d'atteindre un taux de recyclage des déchets du BTP de 70 % à l'horizon 2020. « Nous avons dû reconsidérer la présentation de nos chiffres pour nous inscrire dans la logique de cette directive. En effet, jusque-là, les statistiques ne portaient que sur la production de granulats recyclés. Elles ne reflétaient pas la totalité des flux concernés », explique Christophe Jozon, président de la commission Recyclage de l'UNPG. Il a donc été décidé de réaliser une étude exhaustive sur une région test.

Un taux élevé de revalorisation des déchets

La mission a été confiée à la CERA, et cofinancée par l'ensemble des professions concernées, au côté des conseils généraux, de l'Etat et de l'ADEME. Ses résultats, publiés mi-septembre 2013, montrent que le taux de revalorisation des déchets du BTP est d'environ 62 %, et que 25 % des besoins du secteur de la construction sont aujourd'hui assurés par les matériaux recyclés en région Rhône-Alpes. Des enquêtes similaires, en cours dans d'autres régions, devraient apporter d'ici peu les mêmes conclusions.

Le gisement des déchets du BTP représente, en France, environ 250 millions de tonnes par an, issues de la démolition (immeubles, ouvrages de génie civil) ou des grands chantiers linéaires tels que ceux des lignes à grande vitesse (LGV). Parmi ces déchets, ceux dont la qualité est la meilleure servent à la production de granulats. Ceux de qualité moindre sont réutilisés dans la fabrication de sous-couches (routes, parkings, ...). Ceux de qualité inférieure sont valorisés en réaménagement de carrières ou en fabrication de merlons ; les moins performants étant stockés en décharge. Au total, l'UNPG estime que la proportion des déchets du BTP ainsi valorisés est supérieure à 60 %, à l'échelle nationale, et sans doute proche des 70 % attendus.

Recycler plus et mieux

Cependant, les professionnels ne s'arrêtent pas là. « *Nous voulons non seulement recycler plus, mais recycler mieux et accroître encore la qualité de nos produits* », affirme Christophe Jozon. L'UNPG appelle donc de ses vœux une amélioration des techniques de construction et de déconstruction afin d'augmenter la part des matériaux recyclés dans le produit fini, et demande la mise en œuvre de ses 10 propositions en faveur du recyclage, publiées il y a 18 mois déjà.

La filière, fortement ancrée territorialement (ses matériaux sont transportés sur une distance moyenne de 30 km) pratique une économie circulaire de proximité depuis plus de 20 ans. L'UNPG souhaite le lancement d'une réflexion globale, à l'échelle nationale, sur l'économie circulaire et propose plusieurs pistes de progrès dans ce sens, dont le développement de l'innovation afin d'accroître encore le taux de matériaux recyclés dans les produits finis, la sensibilisation des maîtres d'ouvrage aux démarches qualité, le marquage des produits et le développement des analyses de cycle de vie (ACV). Autant d'outils qui amélioreront le bon usage des matériaux recyclés.

Les carriers satisfont aux besoins quantitatifs et qualitatifs de leurs clients en leur proposant un mix entre matériaux recyclés et granulats naturels. Cette complémentarité de l'offre, dont l'objectif est d'économiser au maximum le prélèvement sur le milieu naturel, implique de développer le recyclage mais également de préserver l'accès aux gisements naturels ; les seuls matériaux recyclés ne pouvant couvrir la totalité des besoins.



Aménagement urbain

■ ILEX [PAYSAGEURBANISME] REDESSINE LE BAS-PORT GILLET À LYON

Dans le cadre du projet Rives de Saône, Ilex [PaysageUrbanisme] a redessiné et aménagé le bas-port Gillet, séquence de 1,9 km qui s'étire de l'ancienne gare fluviale de Vaise au quai Saint-Vincent. Entrée majeure à Lyon depuis le nord, témoin du rapport de la ville à la rivière, cette séquence se situe à l'interface d'importantes entités paysagères et urbaines emblématiques. Une intervention supplémentaire qui enrichit les nombreuses réalisations d'Ilex sur l'agglomération lyonnaise : place-Jardin des Brotteaux, ligne T5 de Bron à Eurexpo, parc de la Feyssine, conception paysagère et mise en lumière du tramway T4, ...

Le projet Rives de Saône

Projet qui s'inscrit dans le cadre de la reconquête des fleuves lancée en 2002 par le Grand Lyon, Rives de Saône, ce sont 25 km de quai, une promenade en 8 séquences alliant patrimoine naturel, historique et culturel.

5^e séquence du projet Rives de Saône, le bas-port Gillet constitue une réelle transition entre l'agitation de la ville et un paysage plus vert et bucolique fait de collines qui glissent vers la Saône.

Le projet du bas-port Gillet est une opportunité pour Ilex [paysage urbanisme] de réitérer et de ré-expérimenter le concept de « nature urbaine » qu'elle teste depuis une dizaine d'années. L'enjeu de l'aménagement est de réintroduire de la nature dans la partie la plus minérale et de récréer un dialogue entre le quai haut et le bord de Saône. « *Ville et nature n'auront jamais été aussi proches, et le contraste créé génère de nouvelles ambiances et de nouvelles pratiques* », souligne Jean-Claude Durual, Ilex [PaysageUrbanisme].

Un projet aménagé en cinq séquences

Ilex a choisi d'aménager le bas-port Gillet en 5 séquences qui proposent des ambiances variées, pour rompre avec le linéaire.

- Séquence 1 : vivre au bord de l'eau
Située au nord de la passerelle Masaryk, cette séquence est marquée par la présence de péniches logements et d'importants immeubles sur le quai haut. Pour l'aménager, Ilex a choisi la thématique « vivre au bord de l'eau ». Ainsi, des saules sont positionnés le long du mur de quai pour assurer l'évolution végétale. Les accroches urbaines sont quant à elles renforcées par l'aménagement accompagnant la construction du futur pont Schuman, la connexion claire du parvis de la passerelle Masaryk et sa piétonisation.

- Séquence 2 : le jardin des berges
L'originalité de cette séquence, qui s'étend de la passerelle Masaryk au pont Clémenceau, vient de la mise en place d'un jardin aquatique. Dans ce jardin, une flore aquatique variée de même que le choix d'espèces diversifiées dans leurs formes et leurs couleurs offriront, au cours des saisons, une animation visuelle mouvante, à contrepied du côté intemporel et stable des quais.

- Séquence 3 : découvrir le lointain
L'aménagement de cette séquence qui s'étend jusqu'au chemin de Serin a été pensé autour de la mise en place d'une rampe panoramique. Longue de 100 m et accolée à la rampe existante, accessible aux personnes à mobilité réduite, elle joue un rôle de belvédère.

- Séquence 4 : un bas-port monumental
Point d'orgue de la séquence des bas-ports, Ilex a choisi d'installer un végétal en pied de mur tel un ruban de jardins pour souligner et jouer avec le mur. La sculpture *Nouages* de l'artiste Pablo Reinoso vient se positionner dans le mur de l'escalier.

- Séquence 5 : descendre à la rivière
Située après le pont Koenig, cette séquence se compose de petits salons verts arborés délimités par des ouvrages nombreux et rapprochés.



Fiche technique du projet

Maîtrise d'ouvrage : Grand Lyon

Maîtrise d'œuvre : Ilex [PaysageUrbanisme]

(mandataire), Cap Vert Ingénierie, Antea Ingénierie & Conseil, Biotec (génie de l'environnement), Agibat Ingénierie, Speeg & Michel (concepteur lumière)

Calendrier de l'aménagement :

- Des greniers d'abondance (DRAC) à la passerelle Masaryk : séquence livrée début septembre 2013 ;
- De la passerelle Masaryk au chemin nature : séquence livrée courant 2014 en fonction des travaux du pont Schuman, le site étant occupé par la construction du nouveau pont.

Missions : maîtrise d'œuvre complète

Surface : 20 000 m²

Montant des travaux : 4,2 millions d'euros/HT.

A Lyon, Ilex prend aussi le tramway

Ilex [paysage-urbanisme] a également signé les aménagements de la phase 2 du tramway T4 lyonnais, inaugurée par le Sytral fin août. Elle y déploie une identité végétale très volontariste et intensifiée, dans un contexte paradoxalement plus dense, les principes de « Nature Urbaine » mis en œuvre sur la 1^{re} phase de la ligne.

Au sein du groupement de maîtrise d'œuvre Systra (mandataire)/Arcadis, et pour le compte du Sytral, Ilex a livré les espaces publics attenants aux 2,5 km de ce tronçon très urbain, rejoignant Lyon 8^e au Campus de la Doua. Cette extension poursuit en centre-ville les aménagements de la phase 1 de la ligne, reliant les quartiers sud de Lyon à Vénissieux, livrés en 2009, et réalisés par le même groupement. Ces quelques 12,5 km de ligne écrivent désormais la seule transversale nord/sud sur l'agglomération lyonnaise, en reliant les 2 grandes universités La Doua (Lyon 1) et la Manufacture des Tabacs (Lyon 3).

■ BONNA SABLA

Nouvelle dalle podotactile Sitinao®, un produit pour l'accessibilité de la voirie aux PAM

En France, l'accessibilité de la voirie aux personnes aveugles et malvoyantes (PAM) est encadrée par la norme NF P 98-351 qui impose des aménagements urbains spécifiques. Les surfaces tactiles au sol aident notamment les personnes handicapées à se déplacer en sécurité.



La dalle podotactile Sitinao

Spécialiste français des solutions en béton préfabriqué, Bonna Sabla est un acteur incontournable sur le marché de l'aménagement urbain avec sa marque Sitinao. Conforme à la réglementation en vigueur, la nouvelle dalle podotactile 42 x 60 cm est un produit universel capable de répondre à tous les cas de pose.

Elle crée l'aménagement de bandes d'éveil au sol dans les meilleures conditions tout en garantissant une excellente tenue de sa fonction dans le temps. La dalle podotactile est recommandée dans des zones spécifiques telles que :

- les traversées de voies de circulation
- les quais de transports guidés,
- les escaliers,
- les îlots-refuges.

Une dalle multifonctions conforme à la nouvelle réglementation

La mise à jour de la norme NF P 98- 51 impose désormais une largeur de bande d'éveil de 60 cm (largeur standard) ou de 42 cm (largeur réduite) en fonction de l'environnement de pose. La nouvelle dalle podotactile 42 x 60 cm est compatible avec l'une ou l'autre de ces exigences et donc à l'ensemble des cas de pose. Elle apporte également une fonction anti-dérapante. Elle répond, en effet, aux exigences de glissance de la norme NF P 98-335 et assure ainsi la sécurité des piétons par temps sec comme humide.

Elle est disponible en 3 épaisseurs (6, 8 ou 10 cm) en fonction du type de trafic et de la fréquence de passage de la zone concernée. Universelle grâce à ses nombreuses applications, elle simplifie également la gestion et le stockage par les professionnels : une référence suffit pour toutes les installations dans l'espace urbain.

Cette nouveauté est proposée dans 2 finitions, brut ou grenailé, et 3 coloris (Aoste, Carrare et Volvic) pour s'intégrer parfaitement dans l'espace urbain et répondre aux exigences de contraste visuel. D'autres coloris et formats sont disponibles sur demande pour les projets spécifiques.

Un investissement pérenne

La dalle podotactile en pierre reconstituée pleine masse est fabriquée par pressage à partir d'agréats naturels sans colorants. Comparée à d'autres dalles disponibles sur le marché en caoutchouc ou en résine à coller sur le revêtement de sol qui, à l'usage, ont tendance à se décoller ou se déchirer, la dalle Sitinao se caractérise par sa longévité. Sa robustesse et son excellente qualité de fabrication maintiennent sa fonction tactile dans le temps et ce, sans le moindre entretien. Elle convient aux collectivités locales qui privilégient les investissements économiques et pérennes.

■ ÉCLAIRAGE PUBLIC :

PPP ENTRE SPIE ET JUVIGNAC

Spie Sud-ouest et la municipalité de Juvignac (34) ont signé un contrat de partenariat public-privé (PPP) pour la reconstruction, la gestion et la maintenance des installations d'éclairage public, la signalisation lumineuse tricolore, la vidéosurveillance, et le génie civil du réseau de communication haut débit de la ville.

1 144 lanternes remplacées dans les 14 premiers mois

D'une durée de 18 ans et d'un montant total de 8,8 millions d'euros, ce contrat se déroulera en 2 phases.

• Dans les 14 premiers mois, une grande partie des installations vieillissantes d'éclairage public de la ville, soit 1 144 lanternes, 890 mâts et 37 armoires seront remplacées. Cette première phase de reconstruction permettra la mise en œuvre de matériels possédant des performances bien meilleures que ceux en place actuellement. Le remplacement des « ballons fluorescents » ayant un rendement énergétique très insuffisant sera notamment la priorité.

• Une autre phase de reconstruction dite « différée » aura lieu à partir de 2027. Seront alors remplacés 213 lanternes et 163 mâts, qui pour le moment, répondent encore aux exigences d'efficacité énergétique.

Un engagement de 40 % d'économie d'énergie d'ici à la fin 2014

Dès la première phase de reconstruction, un système de télégestion sera déployé sur une partie des installations d'éclairage public. Couplée avec des lampes de dernière génération (sodium haute pression et *cosmovwhite*), cette technologie autorise d'ores et déjà Spie Sud-ouest à s'engager sur une baisse de la consommation énergétique de 40 % dès la fin de l'année 2014. Grâce à la télégestion centralisée, très flexible, via des ballasts communicants équipant chaque lampe, une seule personne contrôle à distance chaque point lumineux du réseau équipé. Autres bénéfices essentiels : l'adaptation de l'éclairage au rythme de vie des quartiers, l'optimisation des plages horaires de fonctionnement et le suivi en temps réel de la consommation énergétique. L'intensité de chaque éclairage pourra être aussi modulée sans que cette variation soit perceptible par l'œil humain.

Enfin, sur toute la durée du contrat, Spie Sud-ouest s'engage sur une maintenance à garantie de résultats. Dès la fin de la première phase de travaux, le taux de panne sera en permanence inférieur à 0,5 %, soit un maximum de 10 points lumineux simultanément en panne sur les 2 000 points que compte la commune. Le délai d'intervention des équipes Spie Sud-ouest sera de moins d'une heure.

Le contrat prévoit également la mise aux normes de 6 carrefours à feux, la réalisation d'un réseau de vidéosurveillance de 12 caméras reliées à un PC, ainsi que l'exécution de 9,4 km de génie civil pour le réseau de communication haut débit. L'ensemble de ces prestations complémentaires sera également réalisé, à la demande de la collectivité, dans un délai de reconstruction initiale ne dépassant pas 14 mois.



Matériel

■ MATÉRIEL DE BTP

Le DLR dévoile son baromètre pour le 2^e trimestre 2013

Selon les analyses du syndicat DLR, deux grandes tendances s'affirment : une quasi stabilité des marchés de la location et de la distribution de matériels de BTP et une baisse de l'activité des distributeurs et des loueurs de matériels de manutention.

Malgré une météo capricieuse pendant le printemps, l'activité des loueurs s'est stabilisée par rapport à la même période de l'année précédente (+1 %). Même tendance pour les distributeurs (+1 %). Les perspectives économiques sur le marché de la construction et la santé financière des sociétés de BTP n'ont pas incité les entreprises à acquérir de nouveaux matériels.

La situation du marché de la manutention est en revanche plus compliquée. Le chiffre d'affaires de la profession a baissé de 7 % sur un an, après deux trimestres précédents déjà en recul (-13 % et -2 %).

■ WIRTGEN

Construction de l'autoroute de Transylvanie A3 en Roumanie

Le projet d'infrastructure de l'A3 doit relier Bucarest à la Hongrie.

L'année 2004 a marqué le début des travaux de construction de l'A3, l'« autoroute de Transylvanie », longue de 588 km, traversant la Roumanie pour atteindre Bucarest à la frontière hongroise.

Le tracé relie Bucarest, Ploiești, Brașov, Sighișoara, Târgu Mureș, Cluj-Napoca, Zalău et Oradea à la frontière hongroise où il rejoindra l'autoroute hongroise M4. La fin des travaux est prévue pour 2017.

Deux consortiums ont été chacun chargés d'environ la moitié des travaux de construction des 62 km entre Bucarest et Ploiești :

- Impresa Pizzarotti / Tirrena Scavi pour la section Bucarest – Moara Vlășiei,
- et Spedition UMB /Pa&Co International/Euroconstruct'98/Com-Axa pour la section Moara Vlășiei – Ploiești.

Les technologies du groupe Wirtgen sur le tronçon Bucarest - Ploiești

Spedition UMB fait partie du UMB Grup de Dorinel Umbrarescu – le « roi de l'enrobé ». En tant qu'entrepreneur général, l'entreprise a misé sur les solutions technologiques du groupe Wirtgen pour toutes les étapes du chantier : fondation, stabilisation des sols, pose d'enrobés, compactage et réalisation des surfaces adjacentes en béton telles que caniveaux et bordures. Au total, ce sont 35 machines du groupe qui ont été mises en œuvre sur ce chantier, dont pas moins de 20 sur le dernier tronçon entre les km 48 et 62.

La couche de fondation

Six compacteurs Hamm de type 3520 ont réalisé les fondations. Ces rouleaux à vibration, d'un poids de 20 tonnes, se sont chargés du compactage du sol, avançant en décalé en deux groupes de trois. Les compacteurs étaient équipés d'une part, du système HCQ de mesure du compactage pour contrôler son taux pendant les travaux et donnant immédiatement les informations nécessaires pour procéder aux corrections éventuelles. D'autre part, ils étaient également tous munis du système de contrôle à microprocesseurs Hammtronic. Cette technologie intelligente optimise les fonctionnalités de la machine, garantissant ainsi une gestion économique des matières consommées, un résultat de compactage optimal et un maximum de sécurité. Le système Hammtronic surveille toutes les fonctions du moteur et du véhicule, en particulier l'entraînement de translation, la vibration, l'oscillation et le régime du moteur, afin d'augmenter la productivité tout en réduisant la consommation de carburant de 30 à 40 %.



Des compacteurs Hamm 3520 équipés du système HCQ de mesure du compactage et de Hammtronic compactent la couche de fondation de l'A3

Certains compacteurs équipés de cylindres VIO pouvaient même passer du mode vibration en mode oscillation pendant l'avance par simple activation d'un commutateur.

La stabilisation des sols a été effectuée *in situ* par un atelier de machines constitué d'un épandeur de liant SW 16 TA, d'un recycleur Wirtgen WR 2500 S et d'un compacteur Hamm 3518 d'un poids en marche de 18 tonnes. L'épandeur de liant a tout d'abord répandu le liant avec la composition et la quantité exacte déterminées lors des essais réalisés sur les éprouvettes de sol. Ensuite, le Wirtgen WR 2500 S a malaxé le sol avec le liant, ainsi qu'avec le ciment et l'eau provenant d'un camion citerne lui étant raccordé, afin d'obtenir un mélange homogène et portant. L'incorporation des liants réduit la teneur en eau du sol et augmente nettement l'aptitude à la pose et au compactage, ainsi que la portance. Selon les conditions rencontrées sur le chantier, l'atelier de machines peut stabiliser les sols en ajoutant entre 2 et 5 % de liant sur une largeur de 2,5 m et à une profondeur maximum de 50 cm, tout en avançant à une vitesse de 25 m/min. Particularité du Wirtgen WR 2500 S, le rotor de fraisage et de malaxage n'offre pas seulement 4 vitesses de taille, mais il peut fraiser aussi bien dans le sens de la marche que dans le sens inverse, sans aucune transformation, ce qui offre un contrôle précis du concassage du matériau final.

Le sol ainsi préparé a été ensuite précompacté en 2 à 3 passages pour être enfin compacté par un Hamm 3518 à oscillation équipé du système HCQ de contrôle du compactage.

La solution pour une pose d'enrobé optimale : le finisseur Vögele équipé du système Niveltronic Plus et du Big-MultiPlex-Ski.

Pour la pose d'enrobé, l'entreprise UMB Spedition a utilisé deux finisseurs Vögele : un finisseur Super 1900-2 combiné à table AB 600-2 TV (largeur de travail de 7,5 m) et un finisseur Super 2100-2 équipé de la même table, celle-ci étant toutefois portée à une largeur maximum de 9 m.

L'égalisation de la première couche d'enrobé a été effectuée à l'aide de Niveltronic Plus de Vögele. Ce système de nivellement automatique régule précisément la hauteur de pose sur toute la distance par palpation d'une hauteur de référence déterminée de façon à atteindre la hauteur de consigne requise – indépendamment du niveau du sol support.

Un Big-MultiPlex-Ski a été mis en œuvre pour la réalisation des autres couches. Le palpation virtuelle à l'aide de 3 palpeurs ultrasons a rendu superflue la mise en place de fils de guidage, ce qui évite tant le déplacement des fils que les problèmes liés au mauvais choix de l'emplacement.

Les compacteurs Hamm, garants de la qualité du compactage final

Plusieurs compacteurs sur pneus Hamm GRW 15 (poids en marche de 12 tonnes, poids maximum de 24 tonnes) et des compacteurs tandem à oscillation DV 90 VV d'un poids en marche de 9,6 tonnes se sont chargés du compactage final (partant de la valeur minimum de 85 % pour atteindre 98 %).

Le GRW 15 était équipé, outre les équipements standards, de tabliers isothermes et d'un système de chauffage des pneus destinés notamment à éviter que le bitume ne colle.

Le compacteur à oscillation DV 90 VV, doté de l'intelligent système de gestion Hammtronic, se distingue par son système de régulation électronique adaptant la vitesse et la fréquence d'oscillation en continu à la surface devant être compactée. En outre, il dispose d'un poste de conduite panoramique, dont le siège et le poste de commande peuvent pivoter automatiquement de 360°, pour que le conducteur soit toujours assis dans le sens de la marche.

Matériel, produits et procédés



Après avoir posé une sous-couche de sable, la SP 250 pose la couche de béton selon le profil voulu sous la machine entre les trains de chenilles

Deux DV 90 VV avançant en décalé ont augmenté la largeur de la superficie pouvant être compactée en un seul passage de 1 680 mm à 2 990 mm.

La SP 250, engin polyvalent de Wirtgen pour la pose de béton

Pour l'exécution des travaux de béton adjacents (canalisations, caniveaux, bordures), UMB Spedition a opté pour un engin polyvalent du Wirtgen Group : la machine à coffrage glissant Wirtgen SP 250, avec ses multiples configurations et sa souplesse d'utilisation qui la rendent adaptée à tous types de chantiers. Cette machine peut être utilisée avec 4 ou 3 trains à chenilles, aussi bien pour la pose en déporté que sous la machine, et dispose de nombreux coffrages de taille fixe ou variable.

Pour ces travaux, UMB Spedition avait choisi une configuration de machine pour que la SP 250 pose aussi bien la sous-couche en sable que la couche de béton selon le profil voulu. Cette configuration a contribué à accroître la productivité et à réaliser un profil de canalisation d'excellente qualité.

Pour la pose des caniveaux dans le terre-plein central de l'autoroute et sur les rampes des ponts, UMB Spedition a utilisé la fraiseuse sur roues Wirtgen W 100 F à chargement avant et largeur de fraiseage d'1 m pour enlever une canalisation de 300 mm de profondeur sur une largeur de 1 000 m. La SP 250 a ensuite repris le relais pour la réalisation des caniveaux, posant tout d'abord une sous-couche en sable qu'elle a ensuite recouverte d'une couche de béton.

Lorsque l'A3 sera terminée, les usagers circuleront sur cette nouvelle autoroute à deux voies à une vitesse limitée à 100 km/h.

■ CLERMONT-FERRAND EXPÉRIMENTE UN BUS HYBRIDE

En septembre, les usagers de la ligne 6 « Cournon-Durtol » ont pu voyager dans un bus articulé hybride de la société Iveco/Irisbus. Le syndicat mixte des transports en commun (SMTC) de l'agglomération clermontoise a souhaité expérimenter en conditions réelles, ce type de matériel pour avoir une meilleure connaissance de ses qualités et de ses inconvénients.

Un bus hybride est un véhicule qui fait appel à plusieurs sources d'énergie : l'électrique et le thermique. Le moteur thermique est couplé à un générateur qui alimente un moteur électrique de traction. Il y a récupération de l'énergie au freinage et stockage de celle-ci dans des batteries au lithium qui absorbent beaucoup d'énergie très rapidement et la restitue également très vite, lors de l'accélération. Le moteur thermique se coupe à l'arrêt (*stop & start*). Les batteries sont sollicitées lors du redémarrage, le moteur thermique se met en marche pour fournir l'énergie nécessaire au générateur lorsqu'il n'y a plus d'énergie électrique. La motorisation thermique de ces véhicules est moins puissante que celle de leurs équivalents classiques.

Avantage : réduction de carburant

Le principal avantage de cette technologie est la réduction de la consommation de carburant (gasoil) et donc de l'émission des gaz à effet de serre comme le CO₂. Il est par ailleurs moins bruyant.

L'expérimentation en condition réelle doit permettre de comparer la consommation de carburant, le confort de conduite et l'effet de la climatisation sur l'assistance au démarrage électrique. Elle devra également déboucher sur une évaluation en terme économique : un bus hybride présente un surcoût non négligeable à l'achat qui devrait être compensé en partie par un coût de fonctionnement et une maintenance présentés comme moins onéreux.

■ MICHELIN Deux nouvelles dimensions pour le pneumatique XADN + 23.5R25 et 26.5R25

Un an après le lancement du nouveau pneumatique dédié aux tombereaux articulés opérant sur les chantiers et carrières, le pneumatique XADN +, dans la principale dimension du marché, 29.5R25, Michelin étend l'offre dimensionnelle afin de satisfaire les demandes d'une plus large gamme d'engins.

Le pneumatique XADN + est désormais disponible dans les dimensions 23.5R25 et 26.5R25. Ainsi, son offre est complète pour tous les types de tombereaux articulés.

Ce nouveau pneumatique a d'ores et déjà séduit les opérateurs de chantiers et carrières, en demande d'une grande polyvalence : autoroutes, sablières, carrières ou mines de surface, le XADN + réunit davantage de performances et répond ainsi à toutes les missions en apportant de significatifs gains en sécurité et en productivité.

Le pneumatique XADN + améliore la productivité des opérations en optimisant le temps d'utilisation des tombereaux articulés grâce à :

- plus de sécurité : l'amélioration de la résistance aux agressions des flancs grâce à l'ajout d'un cordon de protection et l'endurance de la bande de roulement du pneumatique avec des nappes sommet et nappes carcasses optimisées maximisent l'utilisation des tombereaux articulés et leur productivité sur le site.
- plus de profitabilité : une nouvelle gomme sur la bande de roulement offrant une durée de vie allant jusqu'à + 15 %, tandis que la carcasse plus endurante contribue aux mêmes objectifs.
- plus de respect de l'environnement : fidèle à sa philosophie de contribuer activement à une mobilité plus efficiente, Michelin renouvelle ses gammes en offrant plus de performances tout en réduisant son empreinte écologique. Par rapport à la précédente génération de pneumatique XADN, le nouveau XADN + fait appel à 18 kilos de matières premières en moins. Tous les pneumatiques Michelin génie civil sont fabriqués dans des usines certifiées ISO 14001. L'engagement du groupe en ce sens a permis à ses sites de baisser son empreinte écologique de 22 % depuis 2005. Le pneumatique XADN + est réparable et rechargeable.



Le pneumatique Michelin XADN +

D'un point de vue technique, ces évolutions ont été obtenues grâce à l'emploi de la technologie C² (une carcasse de dernière génération réduisant l'échauffement pendant le roulage) ainsi qu'à l'augmentation des pressions de fonctionnement de 0,5 bar, pouvant aller jusqu'à 5 bars, pour une charge autorisée de 9 250 kilos par essieu dans la dimension 23.5R25 et 11 500 kilos par essieu dans la dimension 26.5R25.

Au-delà de ces améliorations, la nouvelle gamme conserve tous les atouts du XADN, unanimement reconnus dans la profession :

- une très bonne flottation et une excellente traction sur sol meuble, grâce à une sculpture très découpée à épaulements alternés et à pavés multi-facettes ;
- une très bonne adhérence latérale sur sols meubles et de très bonnes capacités autonettoyantes pendant toute la durée de vie du pneu.



Équipement et sécurité

■ GASTON MILLE Chaussures de sécurité pour conditions extrêmes

Sols meubles ou accidentés, régulièrement souillés d'hydrocarbures, de terre ou de boue, déplacements fréquents, manipulation de charges lourdes, ... les risques auxquels s'exposent les professionnels du BTP sont nombreux : chutes, entorses ou chocs latéraux, perforation de la voûte plantaire et écrasement d'orteils.

Face à ces contraintes, le fabricant français de chaussures de sécurité Gaston Mille a conçu une gamme tout terrain dont les innovations technologiques (semelle cramponnée, cuir pleine fleur imperméable, ...) sont spécifiquement adaptées aux environnements agressifs. Parmi les modèles de la gamme, les chaussures mi-hautes (Unipro S3 AN HI CI SRC), montantes (Union S3 HI CI SRC) et la botte (Unitan Outdry Thinsulate) assurent confort et sécurité.



La botte Unitan Outdry Thinsulate

Semelle à toutes épreuves... pour adhérence maximale

Dotée de crampons profonds (5 mm), la semelle de la gamme tout terrain est parfaitement adhérente sur les sols meubles glissants, boueux ou sablonneux fréquemment empruntés par les professionnels du BTP. Assurant une meilleure stabilité à ses utilisateurs, elle protège également leurs pieds en tout circonstances. Très enveloppante, la semelle est munie de renforts avant et arrière en polyuréthane double densité ainsi que de pare-chocs latéraux qui garantissent une sécurité maximale. Le talon est quant à lui décroché pour éviter chutes et glissades sur les échelles et les échafaudages.

Tige imperméable et isolation thermique pour plus de confort

En cuir pleine fleur très résistant, la tige des modèles de la gamme tout terrain est parfaitement imperméable. Les utilisateurs qui évoluent en permanence sur des sols mouillés peuvent ainsi garder leurs pieds au sec tout au long de leur journée. Pour une parfaite isolation thermique au froid et à la chaleur, les 3 modèles sont conformes aux marquages CI et HI de la norme européenne. En version fourrée, les deux modèles Thinsulate sont quant à eux équipés d'une membrane isolante très efficace au cours d'activités en milieux froids. La membrane Outdry garantit de son côté une imperméabilité parfaite.

■ ROSTAING Winterpro préserve les mains des rudes conditions de travail hivernales

Pour préserver les mains des conditions pénibles de travail en extérieur durant l'hiver, Rostaing® a conçu un gant chaud et très confortable, doté d'un excellent grip : Winterpro.

Winterpro est un double gant de protection contre le froid, tricoté sans coutures. Avec sa doublure épaisse et douce, il apporte confort, souplesse, dextérité ainsi qu'une excellente isolation thermique jusqu'à -10 °C.



Le gant Winterpro

Une enduction totale protège paume et dos des mains contre les projections liquides et les salissures. L'enduction est en nitrile micro-aéré afin d'assurer une bonne prise tout en préservant une respirabilité. Des picots en nitrile dans la paume augmentent encore la préhension et la dextérité.



Systèmes Informatiques

■ TRACEDGE ET LES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE PUBLIC

La géolocalisation d'indices, au mètre près, n'est plus une nouveauté et de nombreuses applications sont déjà opérationnelles. Néanmoins, d'autres sont envisageables, à condition de répondre à de nouvelles exigences en matière de précision et de normalisation. Tel est le cas de la cartographie des performances photométriques des installations d'éclairage public, des villes soucieuses tant des économies d'énergie que de leur bien-être urbain.

En réponse à la norme européenne EN-13201, TracEdge a conçu une solution qui synchronise les données photométriques (éclairage et luminance) aux signaux GPS, pour produire des cartographies précises et détaillées des performances des installations d'éclairage public des villes.

La solution TracEdge couplée à un système d'information géographique (SIG) répond avantageusement aux diverses problématiques de maintenance et de gestion *a posteriori* des installations.

En complément de ces mesures, TracEdge propose une visualisation 2D très innovante des nuisances lumineuses, offrant une information objective des luminances représentées en fausses couleurs.

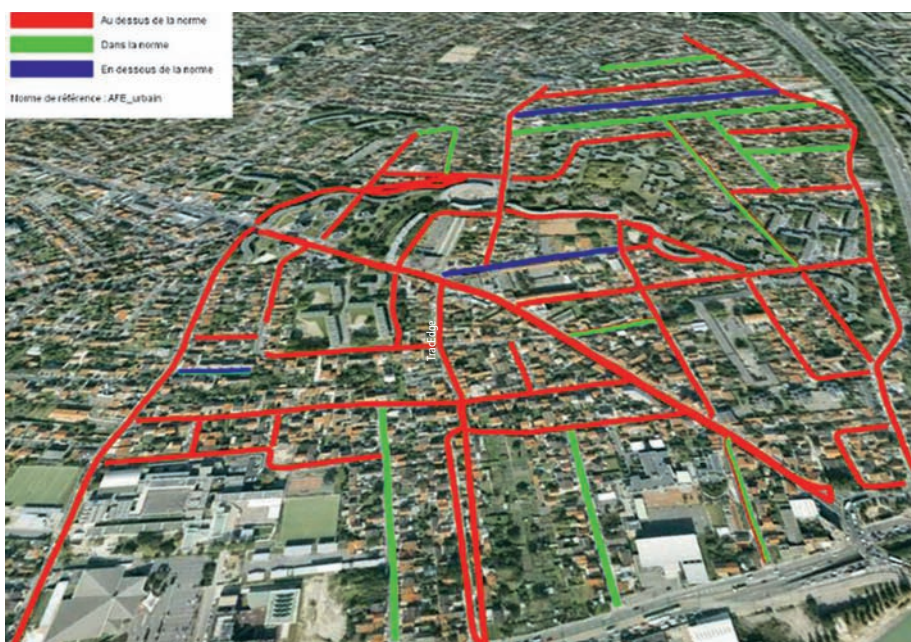
Les services TracEdge

- géométrie et cartographie des performances photométriques (éclairage et luminance),
- voiries,
- tunnels,
- voies piétonnes et trottoirs,
- clichés photométriques : visualisations en fausses couleurs des luminances pour objectiver la qualité de l'éclairage ainsi que les nuisances (ou pollutions) lumineuses,
- cartographies de précision des installations EP.

Quelques références de TracEdge

- Les villes : Besançon, Creil, Moulins, Danjoutin, Blagnac, Béthoncourt, Bourges, Nantes, Riom, Reims, Laon, Lille, Agglomérations du Sud Seine, la Communauté d'Agglomérations du Plateau de Saclay, Marmande, la Communauté d'Agglomération du Val d'Orge, Lorient, St Nazaire, Niort...
- Le département du Pas-de-Calais,
- Les syndicats d'éclairage : le SYDED, le SEDI, le SYANE, le SYDEV, le SIEM77,...
- Les installateurs,
- Les bureaux d'études.

TracEdge est membre du Cluster Lumière : www.clusterlumiere.com/



Éclairages moyens proposés directement en lien avec le classement des typologies de voiries (Recommandations AFE)

■ ADUCTIS

Atal II v5 2013 - Module voirie

Dans le cadre du développement de sa suite logicielle Atal II V5, Aductis présente son module de gestion de la voirie et des réseaux divers.

Bénéficiant des dernières avancées de la version 5 d'Atal II, progiciel de gestion des activités et des interventions des services techniques collectivités territoriales, et optimisé en collaboration avec les collectivités utilisatrices, le module voirie a été pensé pour répondre aux demandes spécifiques des équipes techniques œuvrant dans le domaine de la voirie et autres réseaux.

Le module Voirie définit les voies, les tronçons, ainsi que l'éclairage public et les autres réseaux, tout en ayant la possibilité d'être rattaché directement au système d'information géographique (SIG) de la collectivité.

Ainsi, le progiciel permet de collecter les demandes de travaux et de suivre leur exécution à tout moment, mettant à disposition l'occupation du domaine public ainsi que les arrêtés de circulation, pour que les décideurs aient une vision analytique immédiate des charges et des coûts avec un lien possible vers les outils comptables.

Les soins apportés aux états statistiques et leur représentation graphique offrent de plus une vision promotionnelle du fonctionnement du service voirie.

Le module va gérer toutes les informations contribuant à l'organisation, le contrôle, et le suivi de toutes les missions (contrôle du temps exact de travail opéré par intervention, vérification des kilométrages réalisés pour chaque véhicule et leur temps de passage sur les chantiers, répertoire des types de matériaux utilisés pour réaliser le chantier.

Toutes les données seront intégrées quotidiennement dans la base Atal II en module voirie (dossiers interventions, dossiers tâches) par les services techniques pour établir un coût précis pour chaque intervention avec correspondance des tâches par type d'activité (maçonnerie, tractopelle, interventions d'engins, ...). Grâce à cette démarche, il est possible de réaliser des statistiques précises avec, pour chaque année, l'édition d'un bilan d'activité qui détermine les orientations à prendre (coûts, dépenses, budgets, organisation, personnel, ...).

Un outil de calcul statistique performant

Atal II fournit de nombreux états statistiques par voies, par types de surfaces et de réseaux et par quartiers ou par collectivités. Le progiciel suit les actions transmises aux entreprises et aux régies en ciblant l'état d'avancement ainsi que les coûts. Ainsi, grâce au module voirie, d'un point de vue administratif, les collectivités vont répertorier une traçabilité précise, cas par cas, rue par rue, quartier par quartier, travaux par travaux, différentes opérations et événements dans l'activité, comme la part de l'entretien de la voirie, des manifestations, des travaux neufs, des opérations liées au vandalisme et aux accidents, ...

En termes d'analyse financière et de calcul des dépenses opérées grâce au module statistique d'Atal II, les collectivités peuvent identifier précisément l'ensemble des interventions de l'année, le temps précis de travail homme réalisé, les quantités de matériaux utilisés.

www.aeductis.com



Produits

■ VISO

Poteaux à mémoire de forme

Éléments discrets du mobilier urbain, les poteaux sont pourtant essentiels pour garantir la sécurité en ville en séparant notamment les zones routières et piétonnes. Avec sa nouvelle génération de poteaux à mémoire de forme, VISO, expert dans le domaine de la signalisation et de la sécurité, propose une solution efficace et durable pour disposer de poteaux toujours droits et en parfait état et ainsi éviter leur remplacement coûteux.

Conçus en polyuréthane d'une dureté de 98 %, les poteaux à mémoire de forme de VISO offrent une réponse adaptée à l'augmentation du trafic en zone urbaine et aux besoins de sécurité qui en découlent. Grâce à leur extrême flexibilité, ils absorbent les chocs pour retrouver leur forme initiale après avoir été percutés par un véhicule. D'une résistance au déchirement de 84 KN/m, ils ne cassent pas et ne se bossellent pas. Finis les poteaux tordus et les voitures endommagées par des manœuvres maladroites de conducteurs !



Le poteau à mémoire de forme VISO

A tête boule ou cylindrique, d'un diamètre de 100 mm et d'une hauteur de 80 ou 130 cm hors sol, la gamme de poteaux à mémoire de forme se compose de trois modèles fixes :

- d'une hauteur de 80 cm avec platine à visser,
 - à sceller d'une hauteur de 80 cm hors sol (1 m au total),
 - à sceller d'une hauteur de 130 cm hors sol (dont 1,20 m sous tête et 1,56 au total), modèle conforme aux normes d'accessibilité des personnes à mobilité réduite (PMR) grâce à sa tête de couleur blanche garantissant un contraste de couleur avec le corps du poteau.
- Enfin, pour rester coordonnés à l'espace urbain à sécuriser et ne pas ajouter à la pollution visuelle, les poteaux sont proposés en cinq couleurs standard (vert, blanc, marron, gris et noir) et tout autre coloris sur demande pour une commande minimum de 100 pièces.

www.viso-cpn.com

■ MACCAFERRI ÉLARGIT SA GAMME DE BARRIÈRES CONTRE LES CHUTES DE BLOCS ROCHEUX

Si, au niveau mondial, la société Maccaferri a su imposer son leadership dans les domaines maritimes, hydrologiques, des Travaux publics, elle affirme également cette place sur le marché de la prévention et de la protection contre les risques naturels avec la gamme de systèmes la plus étendue du marché et le lancement de trois nouveaux écrans inédits.

Depuis de nombreuses années, le groupe Maccaferri mène une politique de recherche et développement de haut niveau sur les systèmes de protection contre les chutes de pierres.

Cette politique volontariste lui procure de commercialiser trois nouveaux kits de protection contre les chutes de blocs, désormais certifiés CE et bénéficiant d'un ETA (homologation technique européenne (*European Technical Approval - ETA*) :

- RMC 050A ICAT 2 (500 kJ ETA 12/0455) : ce kit de protection à la particularité de ne pas avoir d'ancrages amont, ce qui offre une mise en œuvre plus rapide en raison du nombre réduit de forages et la possibilité de poser ce produit même sur des terrains d'accès très difficiles.

- RB1500 (1 500 kJ ETA 12/0396) complète la gamme des kits RMC en offrant une barrière de protection intermédiaire entre la 1 000 kJ et la 2 000 kJ proposées par Maccaferri.

- RMC 850/A - (8 600 kJ ETA 13/0017) : le kit de protection contre les chutes de blocs le plus résistant au monde La barrière pare-blocs déformable à absorption d'énergie RMC 850/A - 8 600 kJ ETA 13/0017 est une innovation à la fois technique et technologique. Certifié CE et répondant à la norme ETAG 027 2008, le kit de protection RMC 850/A est en mesure de résister à l'impact d'un bloc rocheux avec des niveaux d'énergie égale à 8 600 kJ. De telles performances en font la barrière de protection la plus résistante existant actuellement sur le marché.

Rapidité de mise en œuvre et faibles coûts d'entretien

Maccaferri a développé ces produits en partenariat avec des professionnels de la mise en œuvre, ce qui favorise des installations rapides qui s'adaptent à tout type de terrain comme en témoignent ses nombreuses réalisations en France et à l'étranger.

Pendant leur conception, l'attention des techniciens et des ingénieurs s'est portée sur leur entretien : les kits de protection contre les chutes de blocs Maccaferri ne nécessitent pas d'entretien particulier et, lors d'un impact, seul le module concerné est affecté tandis que les modules adjacents conservent intacte leur hauteur nominale et leurs dons de capacité d'interception. Seules les pièces endommagées du module affecté seront substituées sans que le reste du kit nécessite la moindre réparation.

Ceci réduit les coûts liés à l'entretien des kits et assure une efficacité permanente de la structure. Le filet et ses éléments associés répondent aux normes de certification qualité UNI EN ISO 9001, à chaque étape de la conception, fabrication et commercialisation.

Conception et technologie des kits de protection RB et RMC

Les kits de protection contre les chutes de blocs RB et RMC se composent d'un ensemble de composantes qui travaillent simultanément lors d'un impact rocheux.

En effet, ces systèmes arrêtent d'énormes masses rocheuses en dissipant l'énergie produite par les blocs sur plusieurs mètres. Ces impacts ne pourraient pas être supportés par des structures rigides qui seraient percées par les blocs.

A titre d'exemple, le kit RMC 850A (8 600 kJ) est capable d'arrêter, sur à peine 9 m, l'équivalent d'un camion de 38 tonnes lancé à 90 km/h.

La structure d'interception est composée d'un filet à anneaux qui résistent à la rupture jusqu'à 500 Kn et qui sont doublés par un grillage double torsion qui a pour objectif de retenir les petits cailloux qui passeraient entre les mailles des filets à anneaux.

La structure d'interception est soutenue par des poteaux qui peuvent atteindre 7 m de hauteur et qui sont conçus pour résister à des impacts très violents.

Tous les kits RB et RMC sont équipés de dissipateurs d'énergie (freins) en aluminium qui travaillent par déformation.

Les modules sont reliés à des ancrages amont et latéraux à l'aide d'élingues équipées elle-même de dissipateurs d'énergie. En cas d'impact, les efforts sont transférés au sol au travers des ancrages.

Ces barrières peuvent être installées dans un délai très court sur tout type de terrain et profil (horizontal ou vertical) et sur des pentes très escarpées.

Sept classes d'énergie certifiée CE et de catégorie A

Ces trois nouveaux kits de protection contre les chutes de blocs rocheux portent à 8 le nombre de classes d'énergie de la gamme de protection Maccaferri (de 500 à 8 600 kJ), qui constitue ainsi l'offre la plus large du marché. Cette gamme est aujourd'hui la seule capable de répondre à tous les défis posés dans le domaine de la prévention des risques naturels.



Parce que la sécurité en montagne peut avoir une incidence directe sur la sécurité des personnes et sur la préservation des équipements routiers, ferroviaires et autres, Maccaferri a choisi de placer l'ensemble de ses produits dans la catégorie A, c'est-à-dire au plus haut niveau de sécurité donnant la garantie des meilleures performances en termes de hauteur résiduelle (utile en cas de détachements multiples) et d'allongement maximale du kit après l'impact. La catégorie A assure une marge de sécurité renforcée notamment en cas de détachements multiples et sur événement.

Des tests grandeur nature

Afin de démontrer le haut niveau de performances de ses barrières de protection, Maccaferri organise chaque année pour ses clients des tests grandeur nature, toujours impressionnants. Ainsi, à l'occasion de son lancement sur le marché, la barrière RMC 500A a fait l'objet d'un test consistant en un lâché d'un bloc de 17,7 tonnes d'une hauteur de 38,25 m dans un kit de 30 m de long sur 6 m de hauteur (photo 1). La vitesse atteinte était de 90 km/h et une capacité 5 254 kJ à l'impact. La hauteur résiduelle après test MEL (*Maximum Energy Level*) de la barrière était supérieure à 50 % (catégorie A selon la norme ETAG 027).

De même, un essai de choc dynamique de la barrière RMC 850/A – 8 600 kJ a été réalisé avec une barrière de hauteur nominale de 7 m (photo 2). Les résultats des tests MEL furent les suivants :

- énergie : 8 644 kJ,
- hauteur nominale de la barrière : 7 m,
- allongement maximal de la barrière : 8,10 m,
- hauteur résiduelle de la barrière > 57 % - Classe A selon ETAG 027.

Chaque test de démonstration ou d'essai pour de nouveaux produits coûte plusieurs dizaines de milliers d'euros. Ces investissements dans la recherche et le développement demeurent prioritaires et stratégiques pour Maccaferri, dont l'objectif est d'offrir le plus grand choix de solutions aux maîtres d'œuvre et aux maîtres d'ouvrage en France et à l'international.

L'homologation technique européenne (*European Technical Approval, ETA*) est délivrée par une autorité reconnue. Elle donne droit au label « CE », qui sera obligatoire dans tous les pays européens au cours des prochaines années.



Photo 1
Test de la barrière RMC 500A



Photo 2
Test de la barrière RMC 850/A – 8 600 kJ

Ce guide renseigne sur les productions des fournisseurs de matériels, équipement ou service.

Si vous désirez être répertoriés dans ces rubriques adressez-vous à :

REVUE GÉNÉRALE DES ROUTES

9 rue de Berri - 75008 Paris
Emmanuelle Hammaoui - RGRA Publicité
Tél. : 01 40 73 80 07 / Fax : 01 44 13 32 98
ehammaoui@editions-rgra.com
www.editions-rgra.com

GUIDE DE L'ACHETEUR

Matériel de terrassement et de traitement de sol

Chargeuses

Bobcat
N° indigo : 0825 08 43 81

Pelles sur pneus

Pelles compactes

Bobcat
N° indigo : 0825 08 43 81



BOMAG
FAYAT GROUP
2 Avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
e-mail : france@bomag.com

Machines traitement de sols



Rabaud
La voie de l'innovation
RABAUD - Bellevue - 85110 Sainte Cecile
Tél. : 02 51 48 51 51 - Fax : 02 51 40 22 96
Mail : info@rabaud.com
Site : www.rabaud.com

Wirtgen France SAS



7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Epandeurs

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Matériel de construction et d'entretien des routes en produits hydrocarbonés



BREINING
FAYAT GROUP
Machines pour les procédés de construction rénovation routières (coulis, ECF, techniques des joints, pelles épanduses)
www.breining.fayat.com

SECMAIR
FAYAT GROUP
Matériel d'entretien des routes : gravillonneurs, répandeurs multi-fonctions, répandeurs gravillonneurs synchrones
www.secmair.fayat.com

FAYAT - 137, rue du Palais-Gallien
BP 90028 - 33029 Bordeaux cedex - France
Tél. : 05 56 00 21 00 - Fax : 05 56 52 16 69
www.fayat.com - e-mail : info@fayat.com



ERMONT
FAYAT GROUP
Centrales d'enrobage à chaud continues et discontinues, cuves de stockage, usines d'émulsion et liants modifiés
www.ermont.fayat.com

SAE
FAYAT GROUP
Centrales d'enrobage à froid et grave émulsion. Centrales de grave ciment
www.sae.fayat.com

FAYAT - 137, rue du Palais-Gallien
BP 90028 - 33029 Bordeaux cedex - France
Tél. : 05 56 00 21 00 - Fax : 05 56 52 16 69
www.fayat.com - e-mail : info@fayat.com

Ermont

Rue Jean-Pierre Timbaud, BP 1 - 42420 Lorette
Tél. 04 77 73 52 65 - Fax 04 77 73 48 85
E-mail : info@ermont.fayat.com
Web : www.ermont.fayat.com

Centrales d'enrobage à froid

SAE

Z.I. Saint-Benoît-la-Forêt, 37500 Chinon
Tél. 02 47 58 00 31 - Fax 02 47 58 01 46

Citernes de stockage et de chauffage

SECMAIR

Z.A., 53230 Cosse-Le Vivien
Tél. 02 43 98 27 76. Fax 02 43 98 86 49
Site web : www.secmair.com
Email : info@secmair.com

Ermont

Rue Jean-Pierre Timbaud, BP 1 - 42420 Lorette
Tél. 04 77 73 52 65 - Fax 04 77 73 48 85
E-mail : info@ermont.fayat.com
Web : www.ermont.fayat.com

Épanduses

ACMAR

Tél. 02 43 06 14 28
Fax 02 43 06 00 00
acmar.craon@wanadoo.fr

SECMAIR

Z.A., 53230 Cosse-Le Vivien
Tél. 02 43 98 27 76. Fax 02 43 98 86 49
Site web : www.secmair.com
Email : info@secmair.com

Finisseurs



COGEPREC
CORINSA
Compacteur à pneus
VERMEER
Matériel pour pose de réseaux
POWER CURBER
Machine à coffrages glissants
COGEPREC
16 rue Angiboust
91460 Marcoussis
Tél. : 01 69 93 28 28 - Fax : 01 60 11 11 21
info@cogeprec.com - www.cogeprec.com

SECMAIR

Z.A., 53230 Cosse-Le Vivien
Tél. 02 43 98 27 76 Fax 02 43 98 86 49
Site web : www.secmair.com
Email : info@secmair.com

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633
95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Fraiseuses

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Birépandeurs liant/gravillon

ACMAR

Tél. 02 43 06 14 28 - Fax 02 43 06 00 00
acmar.craon@wanadoo.fr

SECMAIR

Z.A., 53230 Cosse-Le Vivien. Tél. 02 43 98 27 76
Fax 02 43 98 86 49. Site web : www.secmair.com
Email : info@secmair.com

Niveleuses

Gravillonneurs

Machines traitement de sols

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Matériel de préparation et de mise en œuvre d'enrobés coulés à froid

SECMAIR

Z.A., 53230 Cosse-Le Vivien. Tél. 02 43 98 27 76
Fax 02 43 98 86 49. Site web : www.secmair.com
Email : info@secmair.com

Point-à-temps

ACMAR

Z.I., 53400 Craon. Tél. 02 43 06 14 28
Fax 02 43 06 00 00. Acmar.craon@wanadoo.fr

SECMAIR

Z.A., 53230 Cosse-Le Vivien. Tél. 02 43 98 27 76
Fax 02 43 98 86 49. Site web : www.secmair.com
Email : info@secmair.com

Rouleaux et compacteur



BOMAG
FAYAT GROUP
2 Avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
e-mail : france@bomag.com

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Matériel de recyclage

SAE

Z.I. Saint-Benoît-la-Forêt, 37500 Chinon
Tél. 02 47 58 00 31 - Fax 02 47 58 01 46

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr



BOMAG
FAYAT GROUP
2 Avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
e-mail : france@bomag.com

Usines de fabrication d'émulsion et de liants chauds

Emulbitume

4, rue Copernic, 22950 Tregueux
Tél. 02 96 61 04 04 - Fax 02 96 33 16 26
E-mail : www.emulbitume.com

Ermont

Rue Jean-Pierre Timbaud, BP 1 - 42420 Lorette
Tél. 04 77 73 52 65 - Fax 04 77 73 48 85
E-mail : info@ermont.fayat.com
Web : www.ermont.fayat.com

Matériel de construction des routes en béton de ciment et aux liants hydrauliques

SAE

Z.I. Saint-Benoît-la-Forêt, 37500 Chinon
Tél. 02 47 58 00 31 - Fax 02 47 58 01 46

Bétonnières et centrales à béton

Coffrages

Wirtgen France SAS

7, rue Marc Seguin, BP 31633, 95696 Goussainville
Tél. 01 30 18 95 95 - Fax 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
Site internet : www.wirtgen.fr

Pelles hydrauliques

Volvo Construction Equipment Europe

37, avenue Georges Politzer, 78192 Trappes
Tél. 01 30 69 28 28 - Fax 01 34 82 96 92

Appareils de mesure et de contrôle

Systèmes de guidage

de machines et systèmes

d'auscultation automatique

Matériel pour géomètres

(matériels de topographie, guidage, niveaux, lasers)

Contrôle géotechnique de surface

EQUIPESSAIS

54, rue Danjou - 92100 Boulogne
Tél. 01 46 20 37 45 - Fax 01 46 20 49 59

Matériaux

Briques concassées

**Caoutchouc recyclé pour la route
Produits pour joints
et fissures étanchéité**

Icopal-Siplast

12, rue de la renaissance, 92184 Antony cedex
Tél. 01 40 96 35 00 - Fax 01 46 86 24 85
E-mail : <http://www.siplast.fr>

Polymères pour bitumes routiers et enrobés bitumineux



Spécialiste des ajouts pour enrobés hydrocarbonés :

- PR PLAST CR : additif anti - orniérant pour couche de roulement
- PR PLAST S : additif anti - orniérant pour couche de liaison
- PR PLAST MODULE : additif haut module
- PR FLEX 20 : bitume modifié en granulés
- PR PHONE : additif anti-bruit
- PR PLAST AK : additif anti-kérosène
- PR COL : Coulis pour sols industriels
- BITUCOLOR : bitume de synthèse solide en pains
- CREACOLOR : enduit bitumineux coloré
- Résines + revêtements de sols
- Dosage : doseurs sur roues

Zone Industrielle de la Planchette -
21230 ARNAY LE DUC (France)
Tél. : 00.33.3.80.84.84.00 - Fax : 00.33.3.80.84.84.07
www.pr-industrie.com - Em@il : info@pr-industrie.com

EXXON MOBIL Chemical France

Tour Manhattan
5/6 Place de l'Iris
92095 Paris La Défense Cedex
Tel 01 57 00 70 00
Site internet : www.exxonmobilchemical.com

Dopes et émulsifiants pour bitumes

CECA

89 Boulevard National
92257 La Garenne-Colombes
Tel : 33 (0)1 49 00 38 00
Fax : 33 (0) 1 49 00 38 01
E-mail : info.ceca@ceca.fr

Émulsions de bitume

BP France

Immeuble Le Cervier
12, avenue des Béguines
95866 Cergy Pontoise Cedex
Tél. 01 34 22 40 70
Fax 01 34 22 42 66
www.bpbitumen.com/fr



Emulsions routières (encollage, ECF, enduit) - bitumes polymères - bitumes fluxés - ...

Rue de l'Île Monsin, 80 - B-4020 LIEGE
Tel +32 4 240.70.10 - Fax +32 4 248.05.32
www.gravaubel.com



PRODUCTEUR DE LIANTS DE SYNTHÈSE

Le Couzin - F - 31470 Empeaux
Tél. : + 33 (0) 5 61 91 41 60
vente@aspho.eu
www.aspho.eu



**BP France
Service Bitumes**

Immeuble Le Cervier
12, avenue des Béguines
95866 Cergy Pontoise Cedex
Tél. : 01 34 22 40 00 - Fax : 01 34 22 42 66
www.bpbitumen.com/fr

Nynas Bitumen

87 Exelsiorlaan, B-1930 Zaventem
Tél. 00 32 2 725 22 38
Fax 00 32 27 25 10 91
www.nynas.com/bitumen



307, rue d'Estienne d'Orves
92708 Colombes Cedex
Tél : 01 57 60 61 00
www.bitumes.shell.fr

Bitumes routiers et industriels

Esso S.A.F.

Tour Manhattan
5/6 Place de l'Iris
92095 Paris La Défense Cedex
Tel 01 57 00 70 00
<http://www.esso.fr>



TOTAL
Direction Bitumes

562 avenue du parc de l'Île
92029 Nanterre Cedex
France
Tel. : 01 41 35 40 00
Fax : 01 41 35 21 42

Retrouvez nos produits sur
www.bitumes.total.fr
Styrelf, 25 ans d'expérience dans les
chaussées difficiles et à fort trafic

Gabions

Aquaterra Solutions

26270 Cloussat- france
tel: +33(0)475 638 465
fax: +33(0)475 638 468
www.aquaterra-solutions.fr

**Géocomposite de drainage
(bassins/centre d'enfouissement)
Graviers ciments et chaux
Recyclage des matériaux de démolition**



7, rue Condorcet
94437 Chennevières/Marne cedex
Tél. : 01 49 62 01 23
Fax : 01 45 93 25 74

Revêtements d'étanchéité

Icopal-Siplast

12, rue de la renaissance, 92184 Antony cedex
Tél. 01 40 96 35 00 - Fax 01 46 86 24 85
E-mail : <http://www.siplast.fr>


Géosynthétiques, géotextiles tissés et non tissés, drainage

RENOLIT France

Roissypole Le Dome, 5, rue de la Haye, BP 10943
Tremblay-en-France, 95733 Roissy CDG Cedex
Tél. 01 41 84 30 10 - Fax 01 49 47 04 62
Web : www.renolit.com

Fibertex France

218, chaussée Jules César, 95250 Beauchamp
Tél. 01 39 95 95 20 - Fax 01 39 95 95 21
E-mail : CI@fibertex.com



ALTHEMA
JUSQU'AU BOUT DES SOLUTIONS
66, RUE LERUSTE - B.P. 56 - 93092 WATTELOS CEDEX
TEL. : 03.20.81.73.00 - FAX : 03.20.81.73.01

1 Gamme Géosynthétique très complète :

- Géotextile anti-contaminant TYPAR®
- Géotextile de renforcement TYPAR HR®
- Géogrille de renforcement TENSAR®
- Géogrille pour l'anti érosion TENSAR MAT®
- Système alvéolaire pour maintien des terres
- Géomembrane pour l'étanchéité des bassins

® marques déposées

Tencate Geosynthetics France SAS

BP 40080 95873 Bezons cedex France
Tel: 01 34 23 53 63- Fax 01 34 23 53 48
- Géotextiles TenCate BIDIM® et TenCate POLYFELT®
- Géosynthétiques de renforcement
et d'antifissuration des chaussées

Icopal-Siplast

12, rue de la renaissance, 92184 Antony cedex
Tél. 01 40 96 35 00 - Fax 01 46 86 24 85
E-mail : <http://www.siplast.fr>

Géotextiles pour la lutte contre l'érosion

Aquaterra Solutions

26270 Cloussat- france
tel: +33(0)475 638 465
fax: +33(0)475 638 468
www.aquaterra-solutions.fr

Géosynthétiques pour le renforcement des sols Géosynthétiques à usage routier

Colbond Geosynthetics

268, avenue du Président-Wilson
93218 Saint-Denis-La-Plaine Cedex
Tél. 01 49 46 24 30 - Fax 01 49 46 24 35

Icopal-Siplast

12, rue de la renaissance, 92184 Antony cedex
Tél. 01 40 96 35 00 - Fax 01 46 86 24 85
E-mail : <http://www.siplast.fr>

Géosynthétiques pour bassins hydrauliques et drainage

RENOLIT France

Roissypole Le Dome, 5, rue de la Haye
BP 10943, Tremblay-en-France
95733 Roissy CDG Cedex
Tél. 01 41 84 30 10 - Fax 01 49 47 04 62
Web : www.renolit.com

Icopal-Siplast

12, rue de la renaissance, 92184 Antony cedex
Tél. 01 40 96 35 00 - Fax 01 46 86 24 85
E-mail : <http://www.siplast.fr>

Géosynthétiques pour le stockage des déchets

RENOLIT France

Roissypole Le Dome, 5, rue de la Haye
BP 10943, Tremblay-en-France
95733 Roissy CDG Cedex
Tél. 01 41 84 30 10 - Fax 01 49 47 04 62
Web : www.renolit.com



Route Service Industrie

Produits prêts à l'emploi :

- coulis enrobés percolés
- mortier béton de scellement
- micro - joints de pavage
- etc...

Bureaux et Laboratoires
ZA Ecoparc
Allée des merisiers
27400 HEUDEBOUVILLE
Tél. : 02 32 50 30 10
Fax : 02 32 59 40 01
E-mail : contact@rsi-tp.com
<http://www.rsi-tp.com>

Entreprises

Aménagements paysagers, espaces verts, pieux, fondations, sondages Grenailage

Equip'Sols (siège)

Impasse Peyrière - 31240 Saint Jean
Tél. 05 62 89 23 00 - Fax 05 61 09 67 14
Web : www.equipsols.com
E-mail : info@equipsols.com

Travaux hydrocarbonés

Travaux en béton et liants hydrauliques

Travaux publics



Siège Social
7, place René-Clair
92653 Boulogne-Billancourt Cedex
Tél : 01 47 61 75 00
Fax : 01 47 61 76 00

Contact : colas@colas.fr
www.colas.com

Travaux spéciaux

POSSEHL TRAVAUX SPÉCIAUX
2, rue de la gare - 67210 GOXWILLER
Téléphone : 03.88.04.79.61 - Télécopie : 03.88.04.79.62
Courriel : accueil@possehl.fr - Site web : www.possehl.fr

- Rénovation des sols : Tous types de revêtements en résines industrielles ou décoratifs.
- Travaux aéroportuaires : Sciages de béton toutes épaisseurs, sciage de béton frais, réfection de joints, réparations de béton, rainurage de pistes et balisage lumineux.
- Travaux routiers : Pontage de fissures, sciage de toutes longueurs et toutes profondeurs et rabotage fin.

Une société du groupe L. Possehl

Gestion exploitation

Signalisation routière

• Horizontale

Potters Europe

ZI du Pont Panay

03500 Saint-Pourçain-sur-Sioule

Tél. 04 70 45 70 45 - Fax 04 70 45 57 80

Email : pbarge@pottersgroup.com

Internet : www.pottersurope.com

1^{er} fabricant mondial de microbilles de verre

DELTABLOC[®] FRANCE

Nous reinventons la sécurité. 600

DELTA BLOC France SAS
Séparateur modulaire de voie
5, rue de Castiglione, 75001 Paris
Tél. 01 53 45 27 09 - Fax 01 53 45 27 01
info@deltabloc.fr
www.deltabloc.fr

ROUTES & CONCEPTS

- BANDES PODOTACTILES
- BANDES DE GUIDAGE
- SYSTÈMES D'ANCRAGE POUR PANNEAUX DE POLICE
- ATTÉNUATEURS DE CHOCS

9 bis rue des Sablons 91540 ECHARCON
Tél. Fax 01 69 90 22 12 - E-mail : geniroad@hotmail.com

Équipements Routiers
Aménagements Urbains

SIGNATURE

- Signalisation verticale et équipements de sécurité routière
- Balisage de chantier
- Signalisation horizontale
- Dispositif de retenue

SIGNATURE S.A.S
41, rue des Trois Fontanot
92024 NANTERRE CEDEX
T/ +33 1 41 20 31 00
F/ +33 1 41 20 21 46

Sovitec-Microbeads

Microbilles de verre certifiées à hautes performances

BP 98, 57192 Florange cedex

Fax 03 82 52 91 22 - Tél. 03 82 59 17 89

• Verticale

SES

35-39 Avenue du Danemark
B.P. 57267
37 072 TOURS CEDEX 2
Tél : 02 47 62 66 26
info@ses-signalisation.com

www.ses-signalisation.com

• Lumineuse

ARP Signal

166, allée Saint-Brissin - 51120 Sezanne

Tél. : 03 26 80 45 85 - Fax : 03 26 80 28 27

E-mail : pcourteix@arpsignal.com

Péage

Équipements de sécurité

RHON[®] SEC[®] XTRA
ABSORBANT

Absorbant à cœur, résistant à l'attrition, le RHON[®] SEC-XTRA autorise le nettoyage rapide des routes de tous les produits dangereux renversés, hydrocarbures et dérivés et maintient la sécurité en rétablissant l'adhérence.

RHON[®] SEC-XTRA est un produit TOLSA, leader européen des argiles à faible densité.

TOLSA FRANCE S.A.
Zone portuaire - Quai de Saint-Wandrille
76490 Saint-Wandrille Rançon
Tél. : 02 32 70 46 46 - Fax : 02 32 70 46 47

Écrans antibruit

Régulation du trafic, systèmes de circulation routière

Thales Systemes

B.P. 57, 91229 Breigny-sur-Orge

Tél. 01 69 88 52 00

Fax 01 60 84 82 30

www.thales.transportsservices.com

Atténuateurs de chocs

SEC Envel

18, rue Pasteur, 77250 Veneux-les-Sablons

Tél. 01 60 70 93 93

Fax 01 60 70 99 99

Prestations de services

Météo France

Service D2C

1 Quai Branly, 75340 Paris Cedex 07

Tél. 01 45 56 71 64 - Fax 01 45 56 71 70

Services

Matériels et prestations

LABORATOIRE CBTP
CARRIÈRES • BÉTON • TRAVAUX PUBLICS

Analyses, études et assistance technique :

- Bétons
- Chaussées
- Chimie
- Géotechnique
- Granulats
- Environnement

3 rue Lépine - ZA La Richardière - BP 33216 - 35532 Noyal sur Vaine
Tél. 02 99 41 65 94 • Fax. 02 99 41 65 76
www.lcbtp.com

QualysTM Ingénierie et contrôles

BUREAU D'ETUDES ET DE CONTROLES
CHAUSSEES - TERRASSEMENTS - BÉTON

DIJON (21) : 03 80 56 31 73
qualys.centre.est@gmail.com
GANNAT (03) : 04 70 90 86 38
qualys.centreauvergne@gmail.com
REIMS (51) : 03 26 86 66 51
qualys.nord.est@gmail.com

Rincent BTP SERVICES

AUSCULTATION

Auscultation non destructive des chaussées

- > AERONAUTIQUE IS - Uni - Adhérence - Radar - Portance (Déflexions HWD) - PCN - Solutions de travaux
- > ROUTIERE Relevés visuels - Uni - Adhérence - Radar - Déflexions FWD - Solutions de travaux

TEL +33 (0)2 35 23 65 62 / 85 12
FAX 33 (0)2 35 23 85 11
E-MAIL rincentbtp.auscultation@rincentbtp.fr
www.rincentbtp.fr

Ingénierie

INGENIERIE EUROPE
GINGER CBTP

Centre d'expertise et d'ingénierie de la route

Autoroutes, Routes, Voiries urbaines, Pistes aéronautiques

- Contrôles extérieurs
- Auscultation non destructive
- Diagnostic des chaussées
- Dimensionnement neuf et renforcement
- Gestion de patrimoine
- Assistance à Maitrise d'Ouvrage
- Maitrise d'œuvre
- Formation
- Laboratoire pour la formulation d'enrobés, Niv. 4
- 8 laboratoires agréés Laboroute

Aix 04 42 99 27 00 - Béthune 03 21 56 43 43
Bordeaux 05 56 12 98 10 - IDF 01 30 85 24 00
Lyon 04 72 79 59 59 - Rouen 02 32 19 63 00
Nantes 02 40 92 18 71 - Strasbourg 03 88 81 20 50
Toulouse 05 62 71 80 00

Nos 35 agences sur www.ginger-cebtp.com

Société du Groupe Grontmij

VECTRA
Ingénierie Routière
Environnement
Matériel de mesure

VECTRA, bureau d'étude indépendant spécialisé en Ingénierie Routière, sur tous réseaux routiers, Autoroutiers, voiries urbaines et pistes aéronautiques:

- auscultation des chaussées (surface et structure)
- évaluation de l'état des chaussées (priorité d'entretien, diagnostic, sécurité)
- études des solutions de travaux d'entretien
- établissement de programmation de travaux pluriannuelle.

VECTRA commercialise en exclusivité les matériels mlpc® du LCPC relatifs à l'auscultation des chaussées et aux études de formulation en laboratoire.

Tel :33 (0)1 30 66 01 77 / Fax :33 (0)1 30 62 90 06
Courriel : vectra@vectra.fr / Site : www.vectra.fr

Ingénierie bureaux d'études et de contrôles, architectes, laboratoires

TECHNOLOGIES NOUVELLES
Bureau d'Ingénierie Routière

Auscultation
Diagnostic des Chaussées
Programmation des travaux

contact@technologiesnouvelles.fr
Tél : 33 (0)9 39 89 46 00 - Fax : 33 (0) 9 35 76 94 72
www.technologiesnouvelles.fr

Viabilité hivernale

Sels et saumures de déneigement

Rock

91, avenue de la 1^{re} Division Blindée, BP 1258

68055 Mulhouse Cedex

Tél. 03 89 31 45 00 - Fax 03 89 31 45 01

www.rock.fr

Stations météorologiques

Vaisala SAS

2, rue Stéphenon (escalier 2 bis)

78181 Saint-Quentin-en-Yvelines cedex

Tél. 01 30 57 27 28 - Fax 01 30 96 08 58

VAISALA

Météorologie Routière
SADIVH
Capteurs et Stations Fixes et Mobiles
Prévisions des Températures de Surface
Cartographie Thermique
Services Web

01.30.57.27.28 www.vaisala.com
trafficweather.fr@vaisala.com

HYDROGÉOTECHNIQUE

Département INGENIERIE DES CHAUSSEES

- auscultation de chaussées par mesures au Défectographe LACROIX,
- carottages et radar,
- diagnostic de chaussées,
- propositions de renforcement de chaussées,
- conception de chaussées neuves.

RN6 - 71150 Fontaines
Tél : 03.85.45.88.44 - Fax : 03.85.45.88.43
E-mail : lvenard@hydrogeotechnique.com

Resúmenes Notre revue en espagnol

IFSTTAR : Los 35 años del carrusel de fatiga francés De la prueba AASHO

al carrusel de fatiga p. 32

Después de haber descrito el estado de la red vial francesa al término de la Segunda Guerra mundial y recordado los cambios radicales que ha experimentado la técnica vial en las décadas siguientes, el artículo recopila el historial de pruebas a tamaño natural que, antes de la creación del carrusel de fatiga, contribuyeron al progreso de los métodos de dimensionamiento de los firmes. A continuación se menciona – de forma anecdótica la pista de pruebas construida en 1931 en el Bois de Vincennes y se describen dos grandes pruebas organizadas en Estados Unidos entre 1950 y 1960, las pruebas WASHO y AASHO: la primera contribuyó a la puesta a punto de los ábacos Jeuffroy y Bachelez, y los resultados de la segunda fueron, finalmente, más bien decepcionantes, al menos respecto a los gastos realizados. Una vez recordado el enfoque francés, inicialmente centrado en la realización de áreas de pruebas en la red existente, se describe el proyecto de una pista de pruebas prevista en el terreno de Nantes del Laboratorio Central de Puentes y Calzadas (LCPC, actualmente IFSTTAR). Finalmente, esta solución se abandonó debido a su excesivo coste y se optó por la realización del carrusel de fatiga.

Implantación y resumen de la utilización del carrusel p. 38

El carrusel de fatiga de las estructuras viales se construyó en el emplazamiento del Instituto francés de ciencias y tecnologías del transporte, ordenación y redes (IFSTTAR) en Nantes, a comienzos de los años 1980. Fue diseñado para someter a prueba estructuras reales de firmes con tráfico pesado hasta obtener deterioros. Dos meses de rotación pueden representar hasta 20 años de tráfico pesado soportado por un firme con tráfico medio (T3:150 vehículos pesados/día). Siempre se realiza un seguimiento de las estructuras por medio de diversos instrumentos y se observa el deterioro. Se han probado aproximadamente ciento treinta firmes reales. Al mismo tiempo que el seguimiento de las secciones de prueba en la red vial, estas pruebas han contribuido a la aportación de conocimientos sobre el deterioro de las estructuras viales. El artículo recuerda la puesta a punto del carrusel y sus

principales evoluciones, y presenta un panorama general de sus diferentes aplicaciones.

El carrusel de fatiga: los experimentos con Eiffage p. 49

Eiffage Travaux Publics ha participado en dos experimentos en el carrusel de fatiga: el primero sobre el desarrollo de un ligante desarrollado por TOTAL asociado a un nuevo concepto de aglomerado con gran poder estructural, el EMTE®; el segundo relativo a dos materiales tratados con ligantes hidráulicos, el FRCC® con una alta dosificación de ligante y que incluye fibras metálicas, y el ERTALH®, mezcla de ligante y fresados de aglomerados. Más allá de los objetivos alcanzados en ambos casos, los experimentos aportaron importantes conocimientos para la comprensión del comportamiento de los firmes y de los materiales y para validar las condiciones de aplicación.

Materiales alternativos, firmes innovadores p. 56

En los años 1990 la sociedad Entreprise Jean Lefebvre (EJL), actualmente Eurovia, desarrolló varios procedimientos nuevos e innovadores para capas inferiores de firme, entre los cuales la Grava-Espuma y materiales a base de escorias de incineración de residuos no peligrosos como SCORCIM® y SCORMOUSSE®. Evidentemente, antes de la evaluación de estos productos, se realizaron estudios en profundidad en laboratorio y obras experimentales. Pero muy pronto, fue evidente que el carrusel de fatiga del IFSTTAR de Nantes era el medio más rápido y eficaz para conocer rápidamente el comportamiento de estos materiales con todo tipo de tráfico. En este breve artículo, se resumen los principales resultados obtenidos en el carrusel de fatiga con los experimentos de la Grava-Espuma y de SCORCIM y SCORMOUSSE.

Los productos Colas en el carrusel de fatiga p. 59

Génesis del método francés de dimensionamiento de los firmes de calzada

Lugar que ocupa el carrusel p. 65 Esta síntesis tiene como objetivo presentar la evolución del método de dimensionamiento de los firmes desde 1968 hasta nuestros días (en la que el carrusel ha desempeñado un importante papel). La fuerte sinergia entre las investigaciones

emprendidas en el LCPC (Laboratorio Central de Puentes y Calzadas) y en los LRPC (Laboratorios Regionales de Puentes y Calzadas) y la redacción de las directivas, recomendaciones, guías técnicas SÉTRA (Servicio de estudios técnicos de carreteras y autopistas) - LCPC (Catálogo de estructuras tipo de firmes de calzada, Dimensionamiento de los refuerzos de firmes flexibles) es uno de los puntos esenciales que han permitido a los promotores, contratistas y empresas viales realizar firmes eficientes tanto para los usuarios como para los promotores.

J. Bonitzer [1], después de la segunda conferencia internacional de Ann Arbor en 1967, definió la vía de enfoque racional del dimensionamiento de los firmes de calzada: “La idea directiva de esta vía de enfoque es idéntica a la de las obras de ingeniería civil: calcularemos las tensiones y deformaciones bajo cargas y compararemos estas magnitudes con aquellas que los materiales empleados pueden soportar sin rotura; en cada caso calcularemos la estructura de forma que pueda soportar las cargas previstas.” De este modo, en Francia se pueden distinguir dos períodos principales para el dimensionamiento racional de los firmes:

- 1968-1972, establecimiento del primer catálogo de estructuras de 1971 [2];
 - 1972-1994, aplicación de un método racional de dimensionamiento para los firmes nuevos y los refuerzos [3].
- La contribución del carrusel en el método interviene desde su puesta en servicio a partir de los años 1985.

Experimentos sobre la fatiga de los materiales bituminosos p. 72

De 1990 a 1994, se realizaron tres experimentos sucesivos en el carrusel de fatiga del LCPC en Nantes. Tenían como objeto:

- Comprender mejor el comportamiento relativo de materiales bituminosos elaborados a partir de asfaltos del mismo grado, pero con características diferentes, lo que conduce a diferentes comportamientos a la fatiga.
- Optimizar el dimensionamiento de los aglomerados de módulo elevado (EME), e
- Identificar un ensayo de fatiga más pertinente que el utilizado habitualmente (ensayo de deformación impuesta, a 10°C y 25 Hz).

Este amplio programa experimental permitió validar el coeficiente de calado de los EME, confirmar la mejora resultante del añadido de polímeros de tipo estireno butadien oestireno (SBS) en el comportamiento a la fatiga de un material bituminoso y apreciar el beneficio que podrían aportar ensayos de fatiga de tensión impuesta con tiempo de reposo en el análisis del comportamiento a la fatiga de firmes bituminosos espesos.

Experimentación a tamaño natural sobre la formación de roderas en las carreteras con poco tráfico p. 78

En este artículo se presenta un experimento realizado en el carrusel de fatiga en 2002-2003. Tenía como finalidad estudiar los mecanismos de degradación, en particular la formación de roderas en carreteras con poco tráfico, con bases de gravas no tratadas (GNT). El experimento se realizó en relación con la tesis de A. El Abd [1], con objeto de desarrollar un modelo mecánico de previsión de la formación de roderas de las GNT, basado en su caracterización con el triaxial. En la tesis se ha desarrollado un método operativo de cálculo de la formación de roderas, utilizando el software de cálculo por elementos acabados CÉSAR LCPC, y las modelizaciones se compararon con los resultados del experimento. De este modo se han obtenido previsiones alentadoras de la formación de roderas. Sin embargo, la modelización de la formación de roderas de las carreteras sigue siendo un reto, debido al gran número de cargas que hay que tener en cuenta (varios millones) y a la necesidad de reproducir correctamente la evolución de la carga del firme durante toda su vida útil (variación de las cargas soportadas, pero también temperaturas y condiciones hídricas en los materiales sin ligantes).

Utilización del carrusel en la construcción de un modelo de fatiga de los firmes bajo carga multiejes p. 87

Este artículo ilustra cómo se aborda un problema complejo, el de la fatiga de los firmes bajo carga multiejes, combinando varias vías de enfoque experimentales y numéricas: la experiencia a tamaño natural en el carrusel de fatiga, una campaña experimental de laboratorio en probetas normalizadas

Resúmenes Notre revue en espagnol

y simulaciones numéricas por elementos acabados. La combinación de estos medios tiene como objetivo comprender mejor los factores influyentes, cuantificar sus efectos y reproducirlos en diferentes configuraciones de utilización. Permite eliminar las múltiples dificultades que se plantean en este tipo de problema y predecir la duración de servicio que se espera de los firmes sometidos a cargas complejas.

El carrusel de Nantes y el proyecto FORCE de la OCDE en 1989 p. 93

A partir de los años 1980, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) comenzó a realizar evaluaciones de las investigaciones y las tecnologías en el ámbito de las estructuras viales. Esta organización formó un grupo de científicos con objeto de establecer una relación entre el planteamiento teórico, las pruebas de laboratorio y el comportamiento real de los firmes con el tráfico. En 1989 se utilizó el carrusel de Nantes para realizar un experimento que reunió a expertos de 15 países. Este proyecto, denominado FORCE (First OECD Road Common Experiment), motivó a los expertos que se desplazaron a lo largo de toda la experiencia y permitió obtener numerosas informaciones relativas a la técnica vial.

Érase una vez la durabilidad de innovadores productos bituminosos probados en el carrusel de fatiga p. 97

Las innovadoras técnicas de ayer son las técnicas operativas de hoy, debido a la movilización de todos los actores de la profesión vial:

- empresas que desarrollan productos y medios, procedentes de la investigación,
- promotores y contratistas que establecen disposiciones para evaluar y comparar el interés de estas innovaciones (concursos, cartas, obras experimentales, etc.),
- laboratorios de ensayos e investigación que disponen de medios de estudio prácticamente a escala real como el carrusel de firmes de calzada de Nantes que permite “la aceleración del tiempo” y, por consiguiente, la validación de las técnicas. En este artículo se presentan los resultados de síntesis de los experimentos relativos al desarrollo de nuevas capas de rodadura, para la época: los hormigones

bituminosos drenantes (BBD_r), los hormigones bituminosos de bajo espesor (BBM) y sobre todo de muy bajo espesor (BBTM), cuyas formulaciones de fina granularidad reducen las molestias acústicas al mismo tiempo que mejoran las condiciones de adherencia. Los aglomerados procedentes de diferentes métodos de formulación en laboratorio de aglomerados de superficie se sometieron a la prueba del carrusel, para comparar la pertinencia de estos estudios. La durabilidad con el tráfico y con el paso del tiempo sigue siendo una cuestión esencial de los ingenieros para la elección de las técnicas, y el carrusel constituye una respuesta interesante y pertinente incluso para las capas de superficie.

Prueba Alstom Evaluación con tráfico pesado de los sistemas de alimentación de los tranvías por el suelo p. 103

Alstom Transport utilizó el carrusel de fatiga del IFSTTAR [1] entre 2006 y 2007 para desarrollar una nueva generación de carriles APS (alimentación por el suelo). El APS es un procedimiento de alimentación eléctrica de los tranvías que se integra en el firme y tiene como objeto sustituir la catenaria (línea aérea de contacto) que no siempre tiene los resultados estéticos requeridos en el casco histórico de la ciudad. Debido a esta integración en el firme, el paso en los cruces de vehículos pesados y autobuses provoca tensiones mecánicas muy fuertes que precisaron la utilización del carrusel para comparar 13 soluciones diferentes y, de este modo, encontrar la solución técnico-económica óptima, con varios revestimientos posibles para adaptarse a las estéticas urbanas. En este marco se realizaron las pruebas en el carrusel de fatiga del IFSTTAR. En total, se probaron 13 configuraciones de vía en cruce, combinando diferentes estructuras APS y diferentes tipos de revestimiento, con 1,3 millones de pasos de cargas pesadas del carrusel de fatiga. Este artículo presenta los principales resultados de este experimento.

Instrumentación en la parte superior de los firmes Nuevas evaluaciones p. 108

El deterioro de un firme, por la acción combinada de las cargas pesadas y el clima,

se caracteriza, entre otras cosas, por la fisuración y la aparición de roderas en superficie. El deterioro que se produce cerca de la superficie se ha estudiado poco debido a la dificultad para obtener experimentalmente las deformaciones a este nivel. En este proyecto de doctorado, se han desarrollado dos tipos de instrumentación, basados en sensores de fibra óptica, para analizar las deformaciones en la capa de revestimiento. La instalación en el firme de testigos de sondeo y placas instrumentadas, permite conocer las deformaciones longitudinales, transversales y verticales en los primeros centímetros de la capa, por debajo de ésta pero también en las interfaces entre las capas. Se han realizado varias campañas de medición en dos estructuras de firmes flexibles en el carrusel de fatiga del IFSTTAR en Nantes. Para todas las condiciones estudiadas, se mide y analiza la zona de deformaciones que se ejercen bajo el neumático, lo que permite una mejor caracterización del comportamiento mecánico de las capas bituminosas.

Balance de la utilización del carrusel y perspectivas p. 112

Las fibras ópticas continuas: ¿hacia una medición interna de los deterioros? p. 119

Tradicionalmente, se utilizan extensómetros eléctricos (calibradores) para instrumentar los firmes. Miden las deformaciones de tracción en flexión creadas por las cargas rodantes y, de este modo, efectúan el seguimiento del comportamiento mecánico de un firme con tráfico con el paso del tiempo. No obstante, este tipo de instrumentación tiene límites. Este proyecto de investigación tiene como objetivo probar la tecnología de los sensores de fibra óptica como alternativa a los métodos tradicionales de medición de las deformaciones en los firmes. En particular, se han evaluado las fibras ópticas de medición denominada “repartida”. Permiten efectuar el seguimiento de las deformaciones a lo largo toda de la fibra (de unas decenas de metros a varios kilómetros según las tecnologías de los sensores de fibra óptica). Aunque la frecuencia de adquisición sea reducida (1 medición tarda unos diez segundos), este tipo de fibras parece prometedora para detectar de forma precoz un deterioro

o una fisura de la base del firme (antes de que ascienda a la superficie) y seguir su evolución. La evaluación ha podido realizarse gracias al carrusel de fatiga que permitió probar a la vez la resistencia de las fibras durante la aplicación y, después, la evolución de sus mediciones con tráfico acelerado, en función del deterioro del firme. Para acelerar este deterioro, se crearon desperfectos en el firme.

Prueba de las losas Bombardier en el carrusel Sistema de carga de vehículos eléctricos por inducción integrado en la carretera p. 125

Para anticipar los problemas que plantea el rápido incremento de la urbanización actual, el ámbito de las infraestructuras de transporte debe ser innovador. Debe hacer frente a las necesidades de movilidad actuales y futuras. Bombardier Transportation ha desarrollado recientemente su nuevo sistema de alimentación por inducción de vehículos eléctricos (VE), denominado Primove. Esta tecnología integra en una losa prefabricada de hormigón, instalada en el firme, los cables de alimentación eléctrica para crear un campo de inducción electromagnética. El sistema de alimentación por inducción puede utilizarse para cargar rápidamente los VE cuando están en movimiento (carga dinámica) o parados (carga estática). La ventaja de esta tecnología, totalmente invisible, es que ofrece una solución muy práctica, sin contacto, para la carga eléctrica de los VE, lo que permite resolver su problema de autonomía. Garantizar la durabilidad de los componentes es un aspecto clave del sistema. Así el diseño de la losa prefabricada que se utilizará bajo tráfico pesado en medio urbano y la de la estructura del firme de soporte, desempeñan un importante papel. Para evaluar el comportamiento mecánico y la durabilidad de la losa, se ha decidido realizar una prueba a escala real con el simulador de tráfico vial pesado, el carrusel de fatiga del IFSTTAR en Nantes. Este artículo presenta el diseño del firme experimental con losas prefabricadas, la solución implantada y el seguimiento del comportamiento de las losas en la prueba en curso, en el carrusel.

Un carrusel para vías urbanas desmontables p. 132