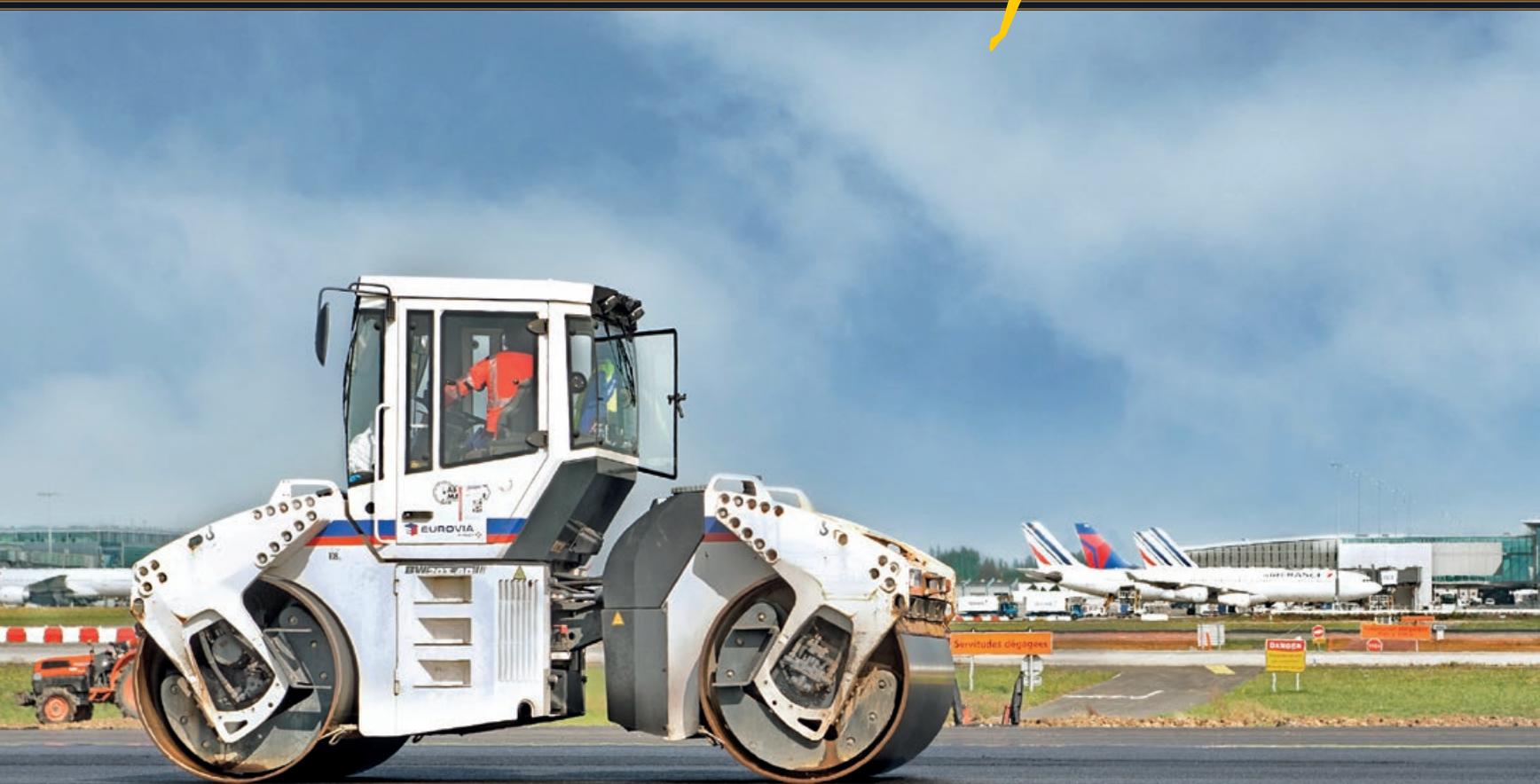


bitume*info*

№ 32

Aménager, construire, innover

Été-Automne 2015



p. 14 AÉROPORT CDG

Un tapis d'enrobé sans joint central pour la piste 4



Groupement
Professionnel
des Bitumes



LA DISPONIBILITÉ EN BITUME

Du bitume de
qualité et pour
longtemps



DES RÉPONSES AUX BESOINS

Face aux contraintes
budgétaires
d'entretien



LA RECHERCHE SE POURSUIT

Les effets du recyclage
sur les performances
des enrobés

SOMMAIRE

VIE DU GPB

- Marché du bitume en 2014 ● p. 3
- Congrès de l'Association internationale de l'asphalte ● p. 3
- Congrès mondial de la route ● p. 3
- Asphalt Advantages ● p. 3

LA DISPONIBILITÉ EN BITUME

- Du bitume de qualité et pour longtemps ● p. 4
- Précision et sécurité dans la chaîne d'approvisionnement ● p. 6
- 3 questions à Hervé Aubart, rapporteur de la commission Sécurité et transport du GPB ● p. 9

DES PRODUITS ADAPTÉS

- A6 : la fin des dalles de béton ● p. 10
- Étanchéité : un tour de force dans le ciel ● p. 12
- Aéroport CDG : un tapis d'enrobé sans joint central ● p. 14

- Plate-forme multimodale : enrobés à hautes performances ● p. 16
- Voies ferrées : du bitume sous les rails (suite) ● p. 18
- Nuisances sonores : silence sur le Périph ! ● p. 20
- Étanchéité : une innovation pour une toiture-terrasse ● p. 22

DES RÉPONSES AUX BESOINS

- Entretien avec Anne-Marie Herbourg, présidente de l'ADSTD ● p. 24
- Face aux contraintes budgétaires d'entretien ● p. 26
- Un guide technique pour l'entretien des routes départementales ● p. 28

LA RECHERCHE SE POURSUIT

- Un nouveau projet national de recherche collaborative sur la route ● p. 30
- Une thèse très remarquée : effets du recyclage sur les performances des enrobés ● p. 32



p. 30

ÉDITORIAL



© GPB



André Bononi, président,
et **Sophie Limborg**,
directeur général du GPB

A partir de 2016, les professionnels du bitume opérant en France rejoindront la structure européenne EUROBITUME, aux activités duquel collabore le GPB. C'est donc sous la bannière d'EUROBITUME FRANCE que seront désormais menées les actions qui étaient celles du GPB, enrichies par l'expérience de nos partenaires européens.

En attendant, fidèle à sa ligne rédactionnelle, ce numéro de bitume.info s'attache, une fois encore, à faire connaître les atouts et les avantages du bitume et des produits bitumineux dans la construction routière, principalement, mais aussi dans l'étanchéité des bâtiments.

La disponibilité du bitume constitue son premier atout. Quel que soit le niveau de la demande – elle est à la baisse, on le sait, depuis sept années consécutives, mais cela ne durera pas toujours –, les raffineurs et les distributeurs de ce produit issu de pétroles bruts spécifiques se sont organisés pour faire en sorte que les utilisateurs, fabricants de liants, d'enrobés et de produits industriels, où qu'ils se trouvent sur notre territoire, ne manquent jamais de cette matière première.

Les responsables de la chaîne d'approvisionnement, comme le rappelle un des articles, veillent à ce que la régularité et la sécurité soient au rendez-vous pour chaque opération de fourniture, sur la route comme dans tous les points de livraison.

Les lecteurs de bitume.info savent que le bitume permet aux entreprises d'apporter des solutions techniques pertinentes pour la réalisation de maints ouvrages, qu'il s'agisse d'autoroutes, de routes départementales ou communales, de plates-formes multimodales ou – une innovation qui compte ! – des voies de chemin de fer à grande vitesse. Sans oublier les complexes d'étanchéité, parfois très sophistiqués, qui protègent les édifices. Ce numéro vous en propose deux réalisations récentes.

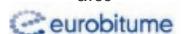
Les producteurs et les utilisateurs de bitume et de produits bitumineux ne se satisfont pas pour autant des acquis de la technique. La réflexion et la recherche se poursuivent, dans les laboratoires des entreprises, des grandes écoles, des universités et des bureaux d'études, dans un effort ininterrompu pour en améliorer encore les performances, quant à la durée de vie, la réduction de l'impact sur l'environnement et l'économie des ressources non renouvelables, tout en optimisant les coûts de production et de mise en œuvre.

Bonne lecture !

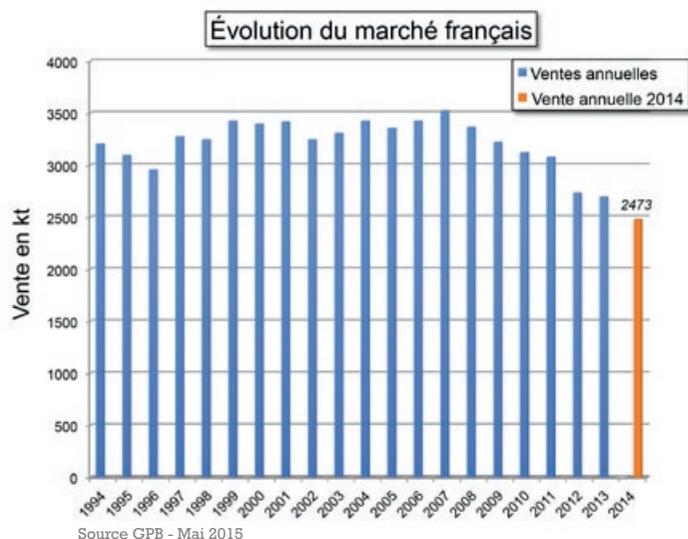
Bitume.info • Revue périodique éditée par le Groupement professionnel des bitumes et destinée à faire connaître les réalisations routières, industrielles, hydrauliques ou autres dans lesquelles le bitume joue un rôle important. 8, Terrasse Bellini - 92807 Puteaux - Tél. : 01 47 74 82 07 / www.bitume.info / Miel : contact@bitume.info. **Directeur de la publication** : André Bononi. **Rédacteur en chef** : Sophie Limborg. **Rédacteur en chef adjoint et rédaction** : Jean-Pierre Sergent. **Conception et réalisation** : Images et Formes. **Ont participé à la réalisation du numéro** : les membres du GPB (BP France, Esso SAF, Repsol, Total Marketing & Services). **Photos de couverture** : Eurovia, Marco Dufour/Total, DR, ENTPE. **Dépôt légal** : 4^e trimestre 2015. ISSN 1764-6790. Diffusion gratuite.



En collaboration avec



Marché du bitume en 2014



En 2014, la consommation du bitume sur le marché français a été de 2,473 Mt, en diminution de 8,1 % par rapport à l'année précédente.

Il s'agit de la 7^e année consécutive de baisse. La consommation s'élevait à 3,520 Mt en 2007, elle a baissé de plus de 1 Mt entre 2007 et 2014. En 2014, la part du bitume utilisée pour le marché de la construction routière a représenté environ 92,5 % du volume commercialisé par les membres du GPB, le reste étant allé à l'industrie et aux produits d'étanchéité.



www.asphaltadvantages.com Une campagne en ligne en faveur du bitume

La campagne en ligne « *Asphalt Advantages* » (« Les avantages des enrobés ») a été lancée conjointement par Eurobitume et l'European Asphalt Pavement Association (EAPA) pour diffuser des informations utiles et documentées sur les avantages des enrobés bitumineux dans la construction et l'entretien des routes.

Le site de la campagne se propose d'aider les usagers et les décideurs à augmenter leurs connaissances et à renforcer leurs convictions concernant les avantages des enrobés. Il propose également des accès à divers canaux de communication et aux réseaux sociaux, de façon à encourager le dialogue et le partage d'opinions et à assurer une meilleure diffusion de messages clés.

Présentée avec clarté, l'information est organisée en quatre grandes parties : • Confort • Économies • Sécurité • Durabilité

La version française du site, d'abord publié en anglais, sera consultable dès octobre 2015.

Pour en savoir plus et partager sur les réseaux sociaux : www.asphaltadvantages.com



Le 25^e congrès mondial de la Route, « Routes et mobilité : Le transport, source de valeur ajoutée », se tiendra à Séoul, en République de Corée, du 2 au 6 novembre 2015.

Les parties prenantes des secteurs public et privé du monde entier se retrouveront pour présenter et commenter les dernières avancées de la recherche, les nouvelles approches et solutions, ainsi que les enseignements tirés de leur mise en œuvre dans différents domaines stratégiques :

- Gestion et performances : rôle des administrations routières.
- Accès et mobilité : déplacements et urbanisation accrue.
- Sécurité : les administrations routières, vers des routes plus sûres.
- Infrastructures : optimiser les investissements dans les infrastructures routières.

Des communications sélectionnées par le comité scientifique du congrès seront présentées par leurs auteurs, et les participants seront en mesure de communiquer directement avec eux dans un espace dédié au sein du parc des expositions.

Pour en savoir plus : www.piacrseoul2015.org

Congrès de l'Association internationale de l'asphalte

L'Office des asphaltes organise le congrès annuel de l'Association internationale de l'asphalte (AIA) les 24 et 25 septembre 2015 à Paris.

Le congrès 2015 de l'AIA, intitulé « Développements dans le domaine de l'asphalte coulé, un matériau d'avenir durable », offre aux professionnels européens et internationaux du métier de l'asphalte coulé l'occasion de se rencontrer et de participer à des discussions techniques. La première journée (24 septembre après-midi) sera consacrée à des visites de réalisations qualitatives en asphalte coulé à Paris. La journée suivante, le 25 septembre, sera entièrement consacrée à un symposium qui se tiendra à l'hôtel Marriott Rive Gauche, au cours duquel plusieurs interventions techniques feront le point sur des sujets d'actualité et des projets en cours, parmi lesquels l'étanchéité des ponts de demain, les méthodes alternatives d'abaissement de la température, les nouveaux types de bitumes utilisés pour l'asphalte coulé, la production et le transport de l'asphalte coulé de demain, le gravillonnage des couches de revêtement en asphalte coulé en Allemagne, les nouvelles directives belges pour les parkings...

Cette journée technique se conclura par un dîner de gala.

Pour en savoir plus : www.mastic-asphalt.eu/fr





© Marco Dufour Total

La raffinerie de Donges, une des sept installations de raffinage du bitume que compte notre pays.

Du bitume de qualité et pour longtemps

Après la fermeture de plusieurs raffineries et le retrait de quelques producteurs de bitume, maîtres d'ouvrage et entreprises routières se posent des questions légitimes sur la pérennité des approvisionnements. La crise, qui n'a pas touché que le marché français, entraîne des modifications du paysage industriel, mais ne met pas en péril la pérennité d'une production indispensable.

Notre pays compte aujourd'hui neuf raffineries en fonctionnement, dont sept produisent du bitume. La fermeture de plusieurs raffineries au cours des dernières années, provoquée principalement par une forte baisse de la consommation des produits pétroliers, et la comparaison avec la situation qui existait auparavant amènent certains utilisateurs de bitume à se poser des questions sur la disponibilité du bitume dans les années à venir.

Ces questions ne sont pas tout à fait nouvelles, puisqu'elles étaient apparues avec les premières fermetures de raffineries, en 2008. Il faut noter que si, depuis cette période, l'offre n'est plus la même, la demande a, elle aussi, évolué : avec la crise économique et financière survenue en 2009, la demande a fortement baissé et les courbes de l'offre et de la demande ont suivi la même évolution avec de fortes baisses, de 30 à 50 % selon les pays. Le marché français, qui était de 3,5 Mt en 2007, se situe autour de 2,5 Mt aujourd'hui.

Stabilité du nombre des points d'approvisionnement

Si le nombre des raffineries productrices de bitume a baissé, celui des points d'approvisionnement (le « supply ») est resté stable, du fait de la multiplication des dépôts de bitume, eux-mêmes approvisionnés par voie fluviale ou maritime ou, depuis peu de temps, par chemin de fer.

Une des caractéristiques de la nouvelle situation est que le bitume circule davantage, en particulier à l'échelle européenne. Comme on peut le voir sur la carte ci-contre, des flux existent en provenance des zones frontalières des pays limitrophes : sud du Royaume-Uni, zone ARA (Amsterdam, Rotterdam, Anvers), ouest de l'Allemagne (Karlsruhe), nord de l'Espagne (Bilbao, Tarragone) et de l'Italie (Gênes, Livourne)...



Les navires transportant du bitume répondent aux normes de sécurité les plus élevées.

2,5

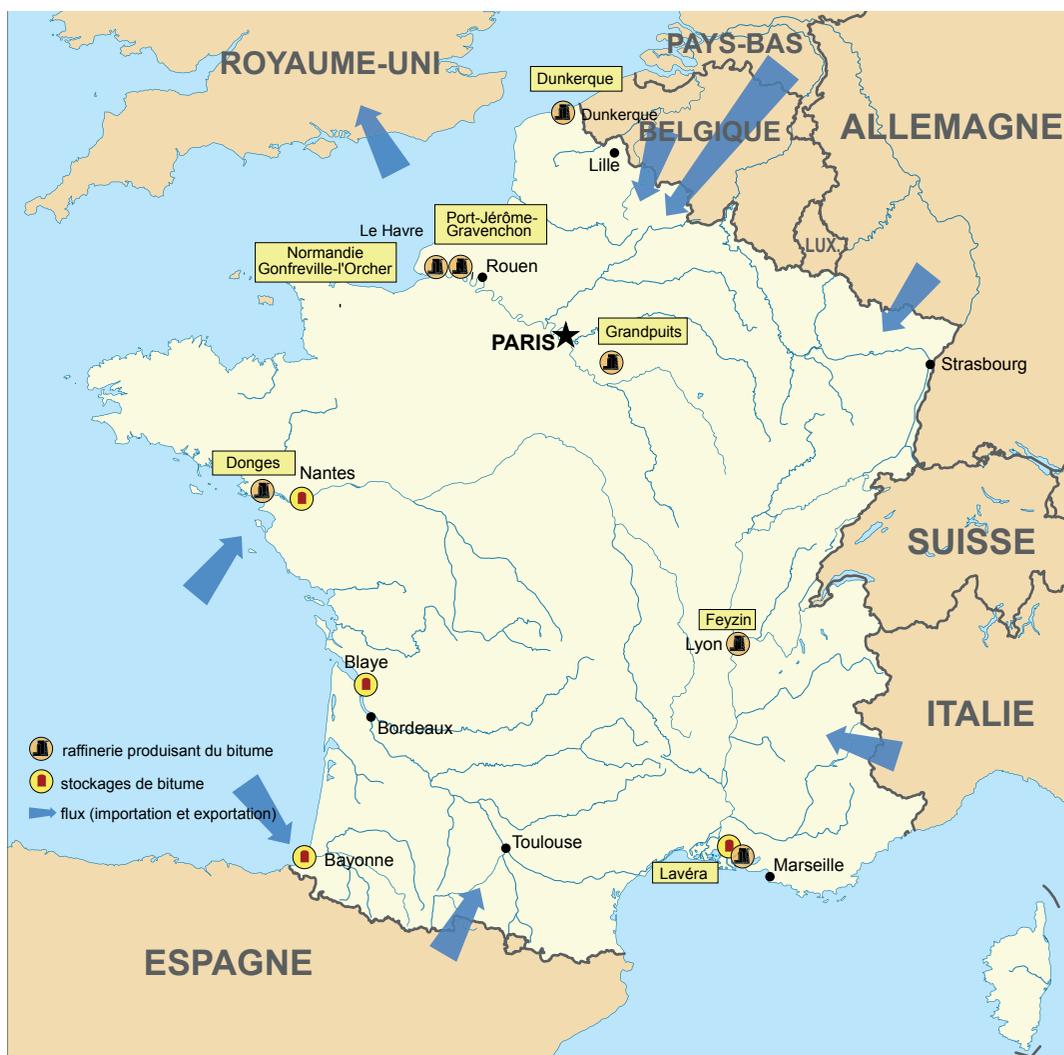
C'est en millions de tonnes le marché français du bitume en 2014, alimenté pour 1,8 Mt par la production intérieure, le reste provenant des pays limitrophes.

Schémas logistiques renouvelés

L'explication à l'augmentation des importations est à chercher dans les déséquilibres économiques entre pays limitrophes : l'Italie et l'Espagne, notamment, touchées plus profondément et plus rapidement par la crise, ont vu leur consommation de produits pétroliers diminuer de 50 % (et même de 75 % pour le bitume en Espagne), entraînant des surcapacités de production qui les ont amenées à chercher (et à trouver) des débouchés nouveaux.

Les schémas logistiques se sont adaptés pour faire face à l'augmentation des distances parcourues et travailler en flux tendus pour livrer les clients qui ont, pour la plupart, une faible capacité de stockage.

Pour transporter le bitume, les semi-remorques sur route demeurent, de loin, le moyen de transport principal, mais le multimodal, avec les bateaux dédiés au transport de bitume et les wagons porte-conteneurs, est appelé à jouer un rôle de plus en plus important pour atteindre les points du territoire les plus éloignés des sources d'approvisionnement. ☺



Précision et sécurité dans la chaîne d'approvisionnement

Livrer le produit commandé à l'heure et au lieu demandés, avec zéro incident ou accident, tel est l'engagement des membres du GPB à l'égard de leurs clients. La réussite exige une organisation parfaitement rodée, car il s'agit de millions de tonnes transportées par des milliers de camions vers des centaines de points de livraison.

Avec près de 3 millions de tonnes de bitume transportées chaque année sur les routes entre les raffineries et les sites des clients (usines de liants, centrales d'enrobage fixes et mobiles), la ponctualité, la sécurité ainsi que la qualité de leurs produits sont, chez les pétroliers, des préoccupations permanentes qui font l'objet d'un effort constant. Depuis longtemps, les membres du GPB se sont organisés avec les transporteurs spécialisés pour satisfaire à ces exigences.

Une des caractéristiques du bitume est qu'il s'agit d'un produit technique, résultant de processus industriels complexes, destiné à des utilisations professionnelles soumises à des contraintes sévères et à des aléas qui ne sont pas toujours maîtrisables. Le fait qu'il doive rester le plus sou-

vent à température constante élevée (en général proche de 160 °C) jusqu'à son utilisation, ajoute aux précautions qu'il faut apporter à son transport.

En raison de la forte saisonnalité de l'utilisation des bitumes, la planification fait l'objet de la plus grande attention et demande des prévisions fines, aussi bien pour les classes conventionnelles que pour les spécialités. L'observation des variations saisonnières fournit un cadre général à cette planification, mais chaque raffinerie revoit ses plans annuels périodiquement, de plus en plus fréquemment pour faire face aux aléas de la demande, produit par produit. À l'autre extrémité de la chaîne, loin en amont, le travail des planificateurs commence par la commande, plusieurs mois à l'avance pour tenir compte du temps de trajet des cargos, des « bruts à bitume » en provenance du monde entier qui seront nécessaires à la production du bitume. L'échelle de temps n'est pas la même.

Prévoyance, compétence, réactivité

En aval, les services clients travaillent en flux tendu, avec des échéances d'un jour ou d'une demi-journée, en visant une précision qui se mesure en heures : les centrales d'enrobage, fixes ou mobiles, dotées de capacités de stockage limitées, travaillent en continu pour fournir les chantiers à raison de plusieurs centaines de tonnes d'enrobés par heure : le finisseur ne doit pas attendre...



Livraison de bitume dans une centrale d'enrobage.



25 tonnes de bitume en route vers une centrale.

Le dispositif est bien rodé et, malgré les inévitables aléas, le bitume parvient presque toujours à temps dans les usines et sur les chantiers, même s'il faut parfois faire preuve de réactivité et d'imagination pour éviter la panne d'alimentation. À l'inverse, il arrive qu'un camion ne puisse pas décharger son bitume, les sorties n'ayant pas été à la hauteur des prévisions à la suite d'imprévus opérationnels. Il faut alors lui trouver d'urgence un autre point de livraison pour éviter que le bitume ne se refroidisse et ne prenne dans la masse !

Prévoyance, compétence, réactivité et interactivité, telles sont les qualités dont savent faire preuve le personnel des services commerciaux et techniques des membres du GPB.

Objectif zéro incident, zéro accident

L'autre objectif des producteurs de bitume, outre la ponctualité des livraisons, est la sécurité, qui doit être la plus élevée possible. Tous les trois mois, la commission Sécurité et transport du GPB se réunit pour examiner les incidents ou accidents qui se sont produits au cours de la période écoulée. À la demande du GPB, ces événements font, en effet, depuis plusieurs années l'objet d'un rapport systématique et nourrissent une réflexion continue sur les questions de sécurité.

La plupart des incidents ou accidents rapportés (ces derniers étant heureusement devenus très rares) ont lieu essentiellement lors du chargement aux points d'approvisionnement ou lors de la livraison (centrales et postes

d'enrobage, usines de liants). Les accidents durant le transport lui-même sont très peu fréquents, puisqu'il n'en subsiste que quelques-uns par an, ce qui, eu égard aux quelque 150 000 trajets effectués, peut être considéré comme très faible.

Cependant, étant donné les conséquences corporelles graves qu'ils peuvent entraîner, l'objectif est zéro accident.

Partager l'expérience

« Le rôle de la commission Sécurité et transport du GPB, explique l'un de ses membres, responsable QHSE, est, dans le strict respect des contraintes et des engagements légaux du Groupement, ➔

« Un produit technique, résultant de processus industriels complexes, destiné à des utilisations professionnelles soumises à des contraintes sévères. »

Équipements de sécurité spécifiques pour le transport du bitume

HARNAIS ANTICHUTE
(sur certains sites de chargement)

BAUDRIER FLUORESCENT
(sur certains sites)

GANTS DE PROTECTION APPROPRIÉS AUX PRODUITS CHAUDS

VÊTEMENT DE TRAVAIL ADAPTÉ (antistatique et résistant à la chaleur)
BRAS ET JAMBES COUVERTS



CASQUE VISIÈRE AVEC MENTONNIÈRE PROTÈGE-NUQUE

LUNETTES DE SÉCURITÉ
(sur certains sites)

CHAUSSURES DE SÉCURITÉ MONTANTES OU BOTTES DE SÉCURITÉ

Source APTH

Dans les métiers du transport du bitume, les risques sont principalement liés la température élevée du produit.

Les formations à la sécurité, mises au point conjointement par le GPB et l'Association pour la prévention dans le transport d'hydrocarbures

(APTH), insistent sur les comportements à adopter pendant la conduite des camions-citernes et lors des opérations de chargement et de déchargement, qui sont les moments pendant lesquels l'exposition au danger est le plus élevée. Préparées avec des professionnels du bitume, les procédures

tendent à normaliser l'activité et les équipements, en vue d'une amélioration constante de la sécurité. Le port systématique des équipements de protection individuels (EPI) a notamment permis de faire reculer significativement l'occurrence et la gravité des accidents et « presque accidents ».

➔ *de partager une expérience en matière de sécurité pour diminuer encore et toujours la fréquence des accidents et l'importance de ceux-ci : chaque année, nous voulons moins d'accidents et des accidents moins graves, avec un objectif affiché de zéro accident. »*

À cause du risque potentiel que représente le bitume, dû essentiellement à la température à laquelle il est transporté, stocké et mis en œuvre, la réglementation en vigueur en France et dans l'Union européenne le classe parmi les matières dangereuses (transport en classe 9 : température supérieure à 100 °C) et impose des normes de sécurité draconiennes, en particulier lors de son transport, notamment la stricte limitation des vitesses et des temps de conduite,

conformément à la réglementation sociale européenne.

Ces normes, édictées par la réglementation sur le transport des marchandises dangereuses (TMD), sont régies par l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR), adopté par la France.

Évaluation HSE des transporteurs par les membres du GPB

Pour s'assurer que les transporteurs respectent, en tous points, les normes de sécurité, le GPB a mis en place un système d'évaluation mutualisé. Cette évaluation porte, notamment, sur la qualité du matériel, la formation des conducteurs et la politique de qualité et sécurité mise en œuvre au sein de l'entreprise.

À l'issue des visites d'évaluation réalisées par les membres du GPB, le référentiel complété est transmis aux autres sociétés membres. Ensuite, chacune d'elles applique ses règles pour décider si elle considère que le transporteur répond à son niveau d'exigence en matière de sécurité. La mutualisation des résultats d'audits permet que tous les transporteurs de bitume soient évalués régulièrement, tout en évitant la multiplication des audits, qui représentent une contrainte lourde pour les transporteurs.

Amélioration permanente

Le GPB accorde une attention particulière à la sécurité sur les points de déchargement. Une série d'enquêtes nationales, commencées en 2000 et répétées en 2003, 2007 et 2015, a permis de dresser régulièrement l'état de la situation dans plus de 500 points de déchargement. Parmi les grandes avancées constatées, il faut retenir la généralisation des pompes aspirantes et la disparition de l'utilisation des pompes refoulantes équipant les camions-citernes, qui furent source de maints incidents ou accidents.

Les enquêtes montrent aussi la généralisation du port des équipements de protection individuelle (EPI), casque à visière et protège-nuque, gants produits chauds, combinaison 100 % coton, chaussures de sécurité hautes. Des progrès restent à faire, notamment dans la disponibilité d'une douche opérationnelle à tout instant sur le point de livraison, été comme hiver.

« L'objectif de notre politique sécurité est triple, explique Hervé Aubart, rapporteur de la commission Sécurité et transport du GPB : faire régulièrement un état des lieux de la situation de sécurité dans l'acte de livraison de bitume ; analyser la tendance des évolutions entre deux campagnes ; continuer à mobiliser les différents acteurs, fournisseurs, transporteurs, constructeurs de routes et étancheurs, avec un objectif d'amélioration permanente des conditions de sécurité. »

3 QUESTIONS À Hervé Aubart, rapporteur de la commission Sécurité et transport du GPB

bitume.info : Le Groupement professionnel des bitumes s'est illustré par l'extrême attention que portent ses membres aux questions de sécurité pendant les différentes phases de transport du bitume : chargement dans les raffineries et les dépôts, transport sur route, déchargement aux points de livraison. Pouvez-vous nous rappeler quelles sont les grandes lignes de l'action de la commission Sécurité et transport du GPB ?

Hervé Aubart : En premier lieu, nous voulons sensibiliser aux risques liés au transport du bitume. La prévention commence par la détection des risques et l'évaluation de leur importance.

Il est important de rappeler aux acteurs les risques intrinsèques du bitume, notamment liés à la température, et aux opérations de chargement, transport, déchargement.

Il s'agit aussi pour nous d'émettre des recommandations quant aux procédures, protocoles et consignes de sécurité, rédigées par des spécialistes, en vue d'une amélioration constante de la sécurité. Nous voulons également faire connaître les règlements (notamment ADR) concernant l'activité du transport. Enfin, le GPB réalise des audits de sécurité des transporteurs afin de vérifier l'adéquation des équipements et l'application des recommandations. Ces audits conduisent à une accréditation des sociétés de transport pour une durée maximale de trois ans.

b.i : Quels résultats les différentes campagnes pour la sécurité menées par le GPB et ses membres, avec le concours des transporteurs, ont-elles données ?

H. A. : Les transporteurs, en s'appuyant sur la grille d'audit GPB, définie par l'ensemble des membres, ont amélioré leur approche HSE vis-à-vis du bitume, mis en place des moyens de prévention et de sensibilisation des conducteurs, un meilleur suivi du matériel, et obtenu un engagement fort de leur personnel dans les domaines HSE.



En outre, de nombreuses recommandations ont été mises en œuvre, dont un exemple significatif est l'installation d'une pompe d'aspiration dans les sites de livraison, permettant d'éviter le risque de blessure par éclatement du flexible suite à sa mise en pression, risque qui existait auparavant quand le produit était « poussé » par la pompe du camion.

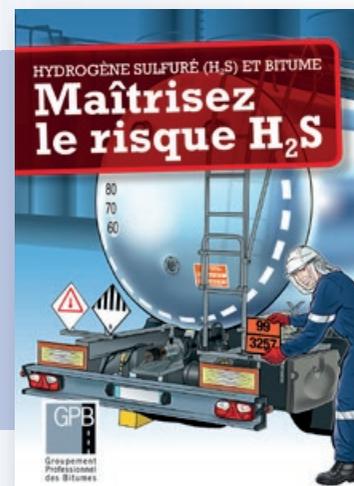
b.i : On sait que l'amélioration de la sécurité est un combat continu, jamais achevé. Quels sont les objectifs actuels du GPB en matière de sécurité ?

H. A. : Au-delà des objectifs et actions structurels, le GPB a souhaité réaliser une enquête exhaustive des sites de livraison, par l'action conjointe de ses différents membres. La synthèse, attendue fin 2015, devrait permettre d'identifier les points d'attention et d'émettre de nouvelles recommandations (par exemple la présence systématique d'une douche de sécurité).

Le GPB promeut également, à travers ses membres, la remontée des « presque accidents » transport, dans un souci d'analyse afin d'en tirer les enseignements.

Prévention du risque H₂S

Maîtrisez le risque H₂S est une plaquette réalisée par le GPB et remise aux transporteurs et au personnel des postes d'enrobage et des usines d'émulsion. Le document rappelle les dangers de ce gaz et les mesures à prendre pour en maîtriser les risques.





A 6

La fin des dalles de béton



Les riverains de l'autoroute A 6 non concédée vont bientôt dormir plus tranquilles. Dans les derniers jours d'août 2015, la fin des travaux de réfection des 4 km de chaussée, dans les deux sens de circulation, a vu la disparition des dernières sections de dalles de béton, inconfortables et bruyantes. Désormais, l'A 6 non concédée offre sur toute sa longueur un double ruban d'enrobé lisse et silencieux.



Une section de l'A 6 en cours de rénovation.

Construites de 1959 à 1962 et élargies de 1967 à 1972, les chaussées vétustes en dalles de béton de l'autoroute A 6 au sud d'Évry entre la RN 104 et la RN 37 (sur plus de 16 km au nord du péage de Fleury) généraient des nuisances sonores pour les riverains, du fait du battement des dalles au passage des véhicules, et avaient un impact négatif sur les conditions de sécurité et de confort des usagers. Pendant quatre ans, la direction des Routes d'Île-de-France (DiRIF) a rénové ces chaussées : il s'agissait de recouvrir les dalles de béton d'un nouveau revêtement, conçu pour assurer sa durabilité ainsi que la sécurité et le confort des usagers et riverains en minimisant les nuisances sonores.

La campagne de travaux 2015 concernait la dernière section non traitée, longue d'un peu plus de 4 km, entre Nainville-les-Roches et Saint-Germain-sur-École. Comme les années précédentes, le chantier a principalement consisté à régénérer la chaussée en posant, sur les dalles de béton d'origine,

trois couches d'enrobés : un béton bitumineux semi-grenu (BBSG) pour le reprofilage, un BBSG de liaison puis un béton bitumineux très mince (BBTM) pour la couche de roulement. La DiRIF, maître d'ouvrage et maître d'œuvre, a fait le choix de poser les couches d'enrobés sur les dalles de béton, sans rabotage préalable, avec fracturation ou non, selon l'état des dalles. Cette option, motivée par la recherche d'une plus grande rapidité d'exécution et d'une réduction des coûts, a entraîné une élévation du niveau de la surface de la chaussée de 14 à 20 cm, contraignant à rehausser six ouvrages d'art traversant l'autoroute pour conserver une hauteur libre autorisant la circulation des poids lourds dans des conditions de sécurité optimales.

Sans interruption de la circulation

« Il était plus avantageux d'éviter le rabotage des dalles de béton, difficile, long et coûteux, explique Laetitia Lespinaise, chef de projet de la DiRIF. Cette section de l'A 6, est une des autoroutes



© DR

Un empilement de couches bitumineuses pour « effacer » le béton.

le matériel nécessaire pour un avancement rapide, jusqu'à 4 000 m de BBTM par jour et 5 500 t d'enrobés. »

Empilement de couches de matériaux bitumineux

La réhabilitation de la chaussée a exigé un empilement de couches de matériaux bitumineux pour « effacer » les dalles de béton, recouvertes une première fois il y a 15 ans, à certains endroits, d'un mince tapis d'enrobé destiné à atténuer les bruits de roulement. Des essais effectués par le CEREMA ont permis de constater qu'il fallait fracturer les dalles de béton sur certaines sections particulièrement détériorées, tandis que la majorité d'entre elles relevait d'un rechargement sans fracturation.

« Une première couche de reprofilage a permis de corriger le profil en travers, car l'autoroute, créée à l'origine en 2 x 2 voies et élargie il y a environ 25 ans en 2 x 3 voies, présentait un profil en travers peu constant, voire incohérent, poursuit Thomas Griffon. Le reprofilage en BBSG 0/10 a permis d'obtenir une pente constante du profil de 2,5 %. On a ensuite posé un sable enrobé anti-remontées de fissures, puis un BBSG 0/10 ou 0/14 en couche de liaison sur 6 ou 8 cm, qui a servi de couche de roulement provisoire. La couche de roulement finale est un BBTM de 2,5 cm. »

pénétrant dans Paris les plus fréquentées, avec un trafic de plus de 100 000 véhicules par jour, dont 9 % de poids lourds, et il aurait été trop pénalisant de la fermer à la circulation pendant les mois nécessaires à cette opération. »

Le rehaussement des deux derniers ouvrages d'art, réalisé de l'automne 2014 au printemps 2015, a été suivi de l'installation d'un nouveau terre-plein central constitué d'une glissière en béton armé (GBA) conforme aux normes actuelles de sécurité. Le chantier de pose des enrobés a pu être réalisé sans interruption de la circulation, avec un basculement alterné du trafic sur 2 x 2 voies, dans le sens province-Paris puis Paris-province, permettant aux ateliers d'application de se déployer sur les trois voies fermées à la circulation.

« Cette solution, autorisée par la DiRIF, nous a permis de travailler dans de bonnes conditions, sans être gênés par le trafic, explique Thomas Griffon, directeur des travaux chez Colas Grands Travaux. Nous avons ainsi pu déployer

Ce sont 60 000 t enrobés qui ont été posées, dont 12 000 t de BBTM pour la couche de roulement, 20 000 t de BBSG 0/14, 15 000 t de BBSG 0/10, environ 5 000 t de sable enrobé et 8 000 t de GB. Le BBSG, le BBTM et le sable anti-remontées de fissures ont été fabriqués à base de bitume modifié. Les couches de profilage et de liaison comportaient 30 % d'agrégats d'enrobés (AE). Les premiers contrôles effectués ont montré que le gain en bruit de roulement est de l'ordre de 6 dB. Néanmoins, la DiRIF devrait procéder à des mesures de bruit complémentaires afin de s'assurer que la réglementation en matière de nuisances sonores est maintenant respectée sur l'ensemble du linéaire concerné par cette opération. ©

Le reprofilage a permis de corriger le profil en travers.



© DR

Pose du BBSG de la couche de liaison.



© DR

Assurer l'étanchéité des formes tourmentées du nouveau musée des Confluences, cet ovni tombé du ciel entre Saône et Rhône, à Lyon, relevait de la gageure. Un défi réalisé avec succès, grâce au savoir-faire de l'entreprise et à la plasticité des matériaux bitumineux.



ÉTANCHÉITÉ Un tour de force dans le ciel



Grâce aux logiciels de conception 3D, l'architecture contemporaine se permet, de plus en plus souvent, des fantaisies formelles du plus étonnant effet, comme en témoignent quelques musées réalisés au cours des dernières années. Le musée des Confluences, bâti au confluent de la Saône et du Rhône, en plein cœur de Lyon, en est un bel exemple, après le Guggenheim de Bilbao ou la fondation Louis-Vuitton à Paris. La structure métallique de ce bâtiment évoque « *un vaisseau spatial momentanément arrêté dans le temps et l'espace* », selon les architectes de l'agence autrichienne Coop Himmelb(1)au.

« Un vaisseau spatial arrêté dans le temps et l'espace. »

Plus de dix ans auront été nécessaires pour bâtir ce musée au confluent des sciences naturelles et des sciences sociales. L'ouvrage, livré en décembre 2014, se compose

de quatre éléments principaux, le socle, le cristal, le nuage et les abords. Seuls le socle et le nuage ont connu les travaux d'étanchéité décrits ici.

Supporter les contraintes du chantier

Le socle, long de 183 m, large de 90 m et haut de 8 m, réalisé en béton, occupe une surface au sol de 8 700 m² et regroupe les locaux techniques, l'espace de préparation et de livraison, les réserves et deux auditoriums. Son étanchéité, réalisée au tout début des travaux, devait répondre aux contraintes du chantier et supporter notamment l'intervention de grues automotrices et de poids lourds pour l'approvisionnement et le levage des charpentes utilisées dans la construction du nuage et du cristal. En phase d'exploitation du musée, l'étanchéité doit empêcher toute infiltration d'eau, en particulier à partir des bassins d'agrément sous lesquels se trouvent les réserves du musée !

Une étanchéité bicouche mixte alliant une membrane bitumineuse soudée en plein (Force 4000 SA, de chez Axter, à base de bitume SBS 4,50 kg/m²) et une contre-chape en asphalte gravillonné de 25 mm d'épaisseur (65 kg/m² en Néophaltes NG20 fabriqué avec 8 % de bitume 35/50) a donc été mise en œuvre dès la fin du génie-civil. À noter également que, tout comme les 5 600 m² de toitures du socle, les 510 m² des cuvelages des auditoriums ont été réalisés en asphalte coulé (procédé Baryphaltes adhérent) avant recharge en béton de protection de 24 à 113 cm d'épaisseur.

En toitures et façades planes et courbes

Le nuage, long de 150 m, large de 83 m et haut de 37 m, regroupe les salles des expositions permanentes et temporaires, les espaces de restauration et les locaux administratifs. Il comporte une structure en charpente d'acier qui reçoit une enveloppe métallique thermo-acoustique



© J.-F. Chapuis

Plus de dix ans ont été nécessaires pour la construction du musée des Confluences de Lyon, dédié aux sciences et sociétés.

Le complexe d'étanchéité épouse les formes les plus complexes du bâtiment.



Le bassin installé sous le « nuage » se trouve au-dessus des réserves du musée.

© J.-F. Chapuis



© J.-F. Chapuis

étanchée, habillée sur une surface de 12 000 m² par 13 000 plaques en inox microbillé de 3 mm d'épaisseur.

La majorité de la surface de couverture comporte une surtoiture en parements inox. Elle est liaisonnée à l'élément porteur et au complexe d'étanchéité bicouche, bitumineux soudé en plein sur un isolant en laine de roche surfacée. Connecté à la charpente par des écarteurs, l'élément porteur en bacs acier nervurés est associé, en sous-face, à un procédé thermo-acoustique (plateau + pare-vapeur + isolants) positionné directement sur la charpente. L'intégralité du système assure un affaiblissement acoustique de 53 dB et une résistance thermique de 0,18 W/m²K pour une épaisseur de 46 cm. La surtoiture est fixée à l'ensemble grâce au procédé Surfa 5 développé par Smac. Toutefois, ce procédé a ses limites : lorsque la charpente de toiture présente des reliefs avec une pente supérieure à

30 %, les platines ne sont plus adaptées pour assurer les reprises de charges tangentielles. « Dans ces cas de figure, nous avons eu recours à des potelets traversant jusqu'à la charpente, explique Pascal Maréchal, directeur adjoint Grands Projet de Smac. Ils sont tous dotés d'une tête spécifique réglable selon les trois axes afin que l'on puisse positionner et régler précisément les porteurs en fonction de la forme souhaitée par l'architecte. »

Les charpentes métalliques, tout comme les parements en inox, se prolongent en façades. Côté ouest, les variations d'inclinaison des 1 700 m² de façades étanchées courbes ont exigé la mise en œuvre d'un complexe comprenant un bac acier nervuré support, une isolation thermique et une étanchéité bitumineuse monocouche soudée en plein. L'ossature secondaire du parement inox a pu être fixée sur le complexe étanche grâce au procédé des profils drainants développé par Smac. ☺



© J.-F. Chapuis

Pose manuelle de l'asphalte coulé destiné à l'étanchéité du socle.

AÉROPORT CHARLES-DE-GAULLE Un tapis d'enrobé sans joint central



Il a fallu plus de 100 000 t d'enrobés pour recouvrir les dalles de béton de la piste 4 de l'aéroport Paris-Charles-de-Gaulle, dont 12 000 t posées en un seul jour pour réaliser la partie centrale, sans aucun joint. Une réhabilitation qui a permis de renforcer la structure de la piste et de la mettre en conformité avec les nouvelles normes internationales.



Ouverte en 1998, la piste 4 de l'aéroport Paris-Charles-de-Gaulle, longue de 2,7 km et large de 60 m, a fait l'objet d'une réhabilitation complète pendant l'été 2014. Il s'agissait de recouvrir d'un ruban d'enrobés bitumineux les dalles de béton de cette piste, construite en 1998, de la renforcer pour lui permettre d'accueillir les avions gros porteurs actuels et de mettre sa géométrie aux nouvelles normes édictées par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

« Renforcer la structure de la piste, en améliorer la géométrie et l'adhérence. »

Les dalles « californiennes », c'est-à-dire sans liaison entre elles, de béton hydraulique non ferrailé de 35 cm d'épaisseur de la piste 4 commençaient à se fissurer et

à présenter des problèmes de glissance. La décision du maître d'ouvrage, Aéroports de Paris, de recouvrir les dalles de béton hydraulique par un ruban d'enrobés confirme une fois de plus, si besoin était, les nombreux avantages de la solution bitumineuse, dont le principal est assurément la rapidité de mise en œuvre.

Cahier des charges d'une extrême exigence

« Le rechargement en enrobés avait pour but de renforcer la structure de la piste, d'en améliorer l'adhérence et la géométrie pour répondre aux nouvelles normes de l'OACI, explique Raphaël Limonier, d'Eurovia Grands Travaux de Blois, qui pilotait le groupement d'entreprises en charge de la réalisation du chantier. Le cahier des charges techniques, comme toujours avec le maître

d'ouvrage ADP, était d'une extrême exigence », précise-t-il.

Pour obtenir la géométrie de surface demandée, il a fallu pas moins de 40 000 points de relevés, qui ont permis ensuite de piloter par laser et GPS les raboteuses puis les finisseurs en charge de la pose, sur les dalles de béton, d'une couche de sable bitumineux de 2 cm, dosé à 10 % de bitume élastomère, dont la fonction est d'assurer le reprofilage de la piste et d'empêcher les fissures de remonter à la surface.

Par-dessus, une géogridde en fibre de verre d'une surface de 170 000 m², à maillage de 50 x 50 cm, a été posée pour protéger le sable bitumineux et servir d'ancrage à une couche de grave-bitume de 9 cm, à base de bitume-élastomère. Enfin, au-dessus de la GB a été posée la couche de



© Eurovia

Noir sur blanc

L'expérience de la réfection de la piste 3 d'Orly en béton hydraulique, qui avait exigé dans les années 1990 l'étalement des travaux sur quatre ans et la fermeture de la piste pendant un an, avait montré les limites de cette technique traditionnelle, peu compatible avec les exigences commerciales de l'exploitation d'un aéroport moderne.

Depuis 1992, ADP a donc décidé de passer aux enrobés bitumineux, avec une première rénovation de la piste 1 de Roissy qui avait consisté à recouvrir les dalles de béton par 20 cm d'enrobés. L'opération n'avait duré que quelques semaines. En 2002, la réfection de la piste 2, dont les dalles étaient à bout de souffle, faisait de nouveau appel aux enrobés et permettait une remise en service rapide. Une deuxième réfection de la piste 1, en 2003, pour l'adapter aux contraintes du futur très gros porteur A380, fit naturellement appel, elle aussi, aux enrobés bitumineux. La réhabilitation de la piste 4 confirme le choix des techniques bitumineuses, qui s'imposent aujourd'hui dans un grand nombre d'aéroports, tant en France qu'à l'étranger.

La centrale mobile d'enrobage, à proximité immédiate du chantier.

des chantiers : 17 gigots cuits au bitume-élastomère ! »

Au total, 110 000 t d'enrobés ont été posées en six semaines, à l'aide de quatre finisseurs équipés de table de 5 et 10 m de large et de neuf compacteurs. Une des principales difficultés rencontrées sur ce chantier était liée aux contraintes de la sécurité, qui soumettait l'accès du personnel et des engins à des contrôles pénalisants. Les bitumes provenaient de l'usine des Liants routiers de la baie de Seine, à Notre-Dame-de-Gravenchon. 🟢



© Eurovia

roulement de 6 cm, en béton bitumineux aéronautique (BBA), à base de bitume-polymère également. Les normes OACI imposaient notamment une pente de profil en travers comprise entre 1 % et 1,4 %.

110 000 t posées en six semaines

« Le maître d'ouvrage demandait que la bande centrale, de 30 m de largeur, soit tirée d'un seul tenant, sans joint central, poursuit Raphaël Limonier. Cette opération a exigé une organisation et une logistique très performantes, car il a fallu fabriquer et poser les 12 600 t d'enrobés en une seule passe, le 10 septembre, entre 6 h 00 et 20 h 00. Nous étions ce jour-là plus de 200 personnes sur le chantier, et, le lendemain, nous nous sommes octroyés une journée de repos avec un des plus gros gigots-bitume de l'histoire



Le principal défi : la pose en une seule journée de la bande centrale de la piste (30 m x 2 700 m), sans aucun joint.

© Eurovia

PLATE-FORME MULTIMODALE

Enrobés à hautes performances



Au cœur de Port 2000, une nouvelle plate-forme multimodale de 100 ha, desservie par l'eau, le rail et la route, va considérablement augmenter les performances et l'attractivité du Havre, consacré, pour la troisième fois en 2014, meilleur port européen. Les chaussées ont été réalisées en enrobés aux performances particulièrement élevées.

Sur les plates-formes multimodales, les chaussées doivent pouvoir supporter jusqu'à 9 conteneurs empilés.



Pour obtenir les performances mécaniques de l'ouvrage requises par les contraintes d'exploitation, l'entreprise en charge du chantier de la nouvelle plate-forme multimodale de Port 2000, au Havre, a eu recours à une technique originale faisant appel à des bitumes durs additionnés d'un bitume minéral naturel, l'asphaltite.

Dans les plates-formes multimodales où l'on charge et décharge des conteneurs maritimes de plusieurs dizaines de tonnes, les chaussées subissent deux types de contraintes très élevées, liées au transport des conteneurs et à leur empilement. Dans les voies empruntées par les poids lourds et les engins porte-conteneurs (*reach stackers*), où la circulation est lente et canalisée, la chaussée doit présenter une

grande résistance à l'ornièrage. Dans les zones de stockage, où les conteneurs reposant sur des appuis de faibles surfaces sont empilés les uns sur les autres, il faut une très grande résistance au poinçonnement.

Adjonction de bitume naturel

« La solution préconisée par le maître d'œuvre comportait l'adjonction d'asphaltite, une roche contenant du bitume naturel, explique Laurent Sabatier, du service Grands Chantiers de l'entreprise Malet, filiale de Spie Batignolles, choisie pour réaliser les chaussées de Port 2000. Ce bitume naturel de faible pénétrabilité, ajouté au bitume de classe 10/20, a permis d'obtenir un enrobé au module extrêmement élevé de 18 000 MPa. »

L'asphaltite, en provenance de mines de Roumanie, a été ajoutée à raison de 1,6 % dans le mélange qui comportait 4,2 % de bitume de classe 10/20, réalisant ainsi une proportion totale de bitume de 5,5 %, conformément au cahier des charges, compte tenu des 20 % de matière inerte contenue dans l'asphaltite. L'introduction de l'asphaltite était faite dans le malaxeur au niveau de l'anneau de recyclage, dans le tube sécheur, comme pour les fraisats.

Trois structures différentes

La plate-forme compte trois types de structures différents, nécessitant chacun, un enrobé spécifique :

- Pour la zone de 121 000 m² destinée à recevoir les conteneurs (*reach stackers*), l'entreprise Malet a appliqué deux couches d'enrobé à module élevé avec asphaltite (EME) de 13 cm et une couche d'enrobé composé de béton bitumineux à module élevé (BBME) de 6 cm avec asphaltite également ;



Un mélange de bitume naturel oxydé et de bitume de raffinage dur (classe 10/20) pour obtenir un enrobé de module extrêmement élevé (18 000 MPa).

- Pour les 17 000 m² dédiés aux voiries poids lourds (parkings, voiries et giratoire), l'entreprise a mis en œuvre deux couches d'enrobé à module élevé avec asphaltite (EME), de 10 cm et 7 cm, et une couche d'enrobé en béton bitumineux semi-grenu (BBSG) de 6 cm, en couche de roulement. Un bitume plus dur a été utilisé pour la couche de roulement du giratoire (10 cm) afin de tenir compte des contraintes de cisaillement plus importantes ;

- Enfin, pour les voies légères de 13 000 m², une couche de roulement en béton bitumineux semi-grenu (BBSG) d'une

épaisseur de 6 cm a été posée directement sur une grave non traitée (GNT).

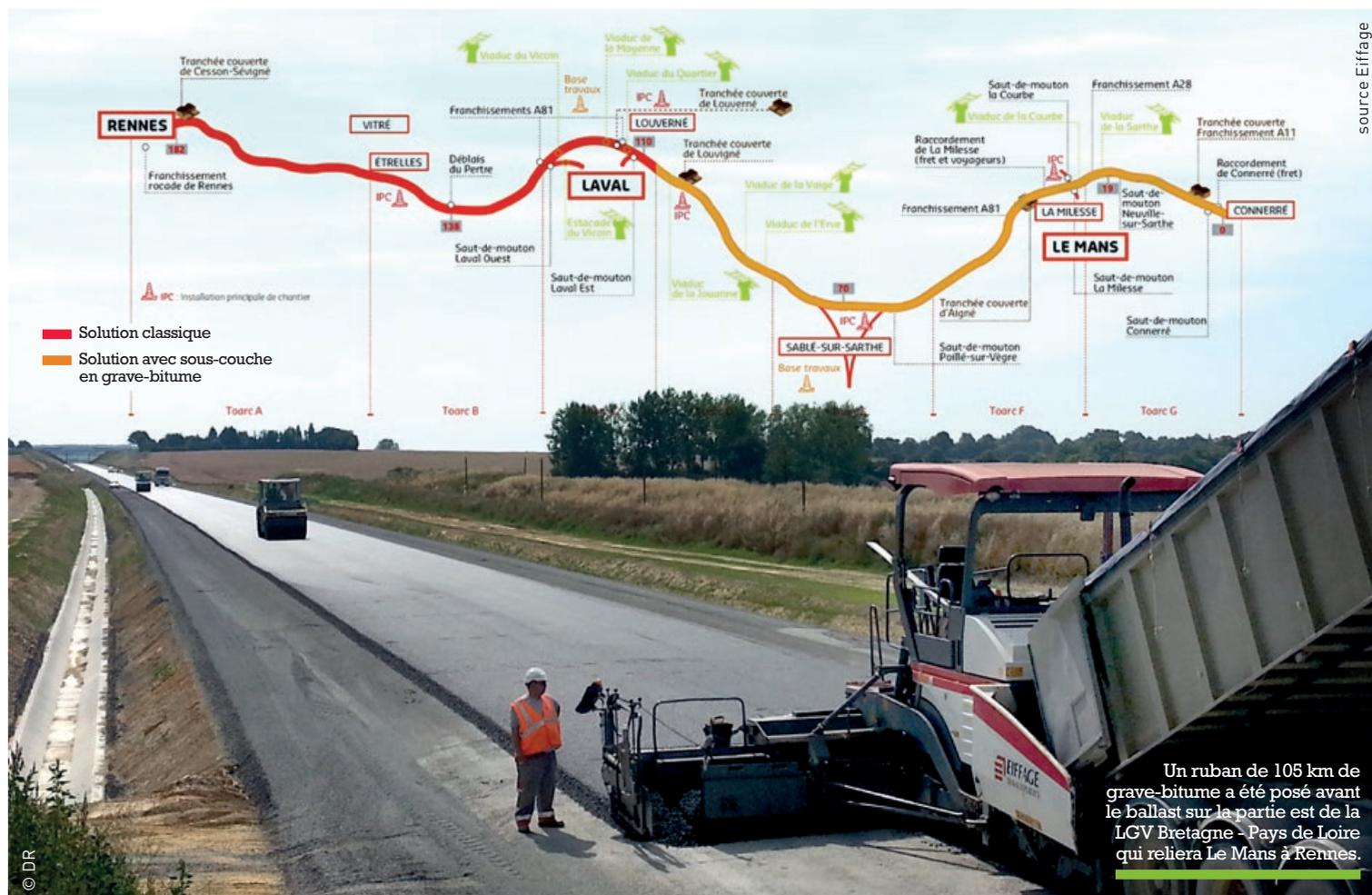
Les enrobés (120 000 t) ont été fabriqués à la cadence de 2 500 à 3 000 t/j avec des granulats transportés par bateau depuis la Norvège. Le bitume provenait de la raffinerie de Normandie (Gonfreville-l'Orcher, Total). La mise en œuvre a été assurée par des finisseurs de 3 m à 9,5 m de largeur. Le compactage à haute énergie a permis d'obtenir une compacité de 97-98 % pour la structure destinée à recevoir les conteneurs, comme l'ont vérifié les carottages de contrôle après travaux. ☺



Le compactage à haute énergie a permis d'obtenir des teneurs en vides inférieures à 3 %.

VOIES FERRÉES

Du bitume sous les rails (suite)



La pose des dernières tonnes de la couche de grave-bitume sous ballast de la nouvelle LGV Bretagne - Pays de la Loire a été achevée le 1^{er} juin 2015. Dans les délais et sans incident de mise en œuvre. Ce chantier marque l'entrée dans la phase industrielle d'une technique innovante jusqu'alors demeurée expérimentale. Un apport remarquable de la technique routière et du bitume à la construction ferroviaire.

Pour la construction d'une partie de la LGV Bretagne - Pays de la Loire (BPL), comme pour le prolongement de la LGV Est (LGVE), celui de la LGV Sud Europe Atlantique (SEA) et le contournement Nîmes-Montpellier (CNM), la décision avait été prise par Réseau ferré de France (devenu SNCF Réseau) de recourir à la technique de la grave-bitume sous ballast, une technique expérimentée sur une section de la LGV Est dès 2005. Les lecteurs de *bitume.info* se souviennent que l'instrumentation de cette section expérimentale avait révélé l'excellent comportement de la voie ainsi construite. Les entreprises de construction ferroviaire y avaient découvert les avantages de la mise en œuvre de cette technique issue de la construction

routière, économisant des matériaux et facilitant les phases ultérieures du chantier (pose de la voie, des caténaires, du câblage, etc.). Le maître d'ouvrage, SNCF Réseau, y vit la promesse d'un entretien allégé pendant la durée de vie augmentée de la voie et la possibilité de faire passer davantage de convois grâce aux « sillons » supplémentaires ainsi libérés des contraintes d'entretien (Cf. *bitume.info* n°10, 23, 26, 29 et le hors-série Géorail).

Organisation spécifique de partenariat

La future ligne BPL s'étend sur 182 km, de Connerre, à l'est du Mans, à Rennes où elle se raccorde au réseau existant et traverse la Sarthe, la Mayenne et l'Ille-et-Vilaine.

Une organisation spécifique de partenariat a été mise en place entre une filiale de la société Eiffage, Eiffage Rail Express (ERE) et Réseau ferré de France pour mener à bien la réalisation de ce projet puis l'exploiter pendant la durée de la concession (25 ans). La conception de l'ouvrage a été confiée au GIE Construction de la ligne Eiffage Rail Express (CLERE), et sa construction à un ensemble d'entreprises appartenant au groupe Eiffage.

La technique de la grave-bitume (GB) sous ballast a été utilisée pour les 105 km le plus à l'est de la nouvelle ligne. Le choix de ne pas recourir à la GB sur la totalité répond à des raisons économiques et techniques : dans la partie ouest de la ligne, la présence à proximité de carrières de granulats à coûts avantageux, d'une part, et le grand nombre d'ouvrages d'art, d'autre part, rendaient l'utilisation de la GB moins justifiée ou plus délicate.

Réduction en largeur et en épaisseur

« Nous avons innové par rapport à la structure de référence, car nos calculs par la méthode Alizé et ceux par les éléments finis, dont les résultats concordent, nous ont montré que nous pouvions modifier la géométrie de la sous-couche bitumineuse, dans le sens d'une réduction en largeur et en épaisseur qui s'accompagnait de substantielles économies de matériaux nobles, sans diminuer les performances ni la durée de vie de l'ouvrage, explique Pascal Dos Santos, directeur d'Eiffage Grands Travaux, en charge notamment de la mise en œuvre de la grave-bitume. C'est pourquoi le tapis de GB que nous avons posé est moins large et un peu moins épais. »

Parmi les innovations mises en œuvre sur la LGV BPL, on retiendra plus particulièrement la réduction de la largeur de la sous-couche bitumineuse à 8 m (au lieu de 14 m). Deux bandes latérales de 2,8 m chacune en grave non traitée (GNT) forment des accotements qui protègent la couche de réglage et la plate-forme support granulaires (voir illustration ci-contre). Pour assurer le bon accrochage de la GB, une couche d'enduit superficiel (dosé à 1 kg de bitume résiduel) est posée en interface entre celle-ci et la couche de réglage. Un autre

enduit, bicouche cette fois (3 kg de bitume résiduel), est posé au-dessus de la partie de la couche de réglage qui déborde sur l'accotement, pour assurer sa protection contre les infiltrations d'eau.

Sécurisation des plannings

La grave-bitume a été posée en une seule passe de finisseur. Les centrales d'enrobage permettent une progression d'environ 1 km/j. « à condition que les travaux préalables nécessaires ne subissent pas de retard, ce qui n'arrive pas toujours, précise Pascal Dos Santos. Si l'utilisation de la GB sous ballast facilite grandement les interventions après sa pose et sécurise les plannings, puisque les camions et les engins circulent alors dans des conditions idéales, comme sur une autoroute en construction, on ne peut la poser que si tous les travaux préparatoires de terrassement et de construction des ouvrages ont été menés à bien et que tous les points durs ont été résolus. »

Les 250 000 tonnes de GB classe 4 ont été fabriquées dans deux centrales, à base de 12 000 t de bitume Azalt 35/50 en provenance de la raffinerie de Donges (Total), avec un seul type de granulats, de la rhyolite en provenance de la carrière Baglione, à Averton (53). Le bitume Aqualt 70/100 pour l'émulsion des enduits provenait de Gonfreville (Total).

Dosage en bitume

« Par précaution, pour bien enrober le caillou et obtenir la très longue durée de vie qui est celle d'une plate-forme

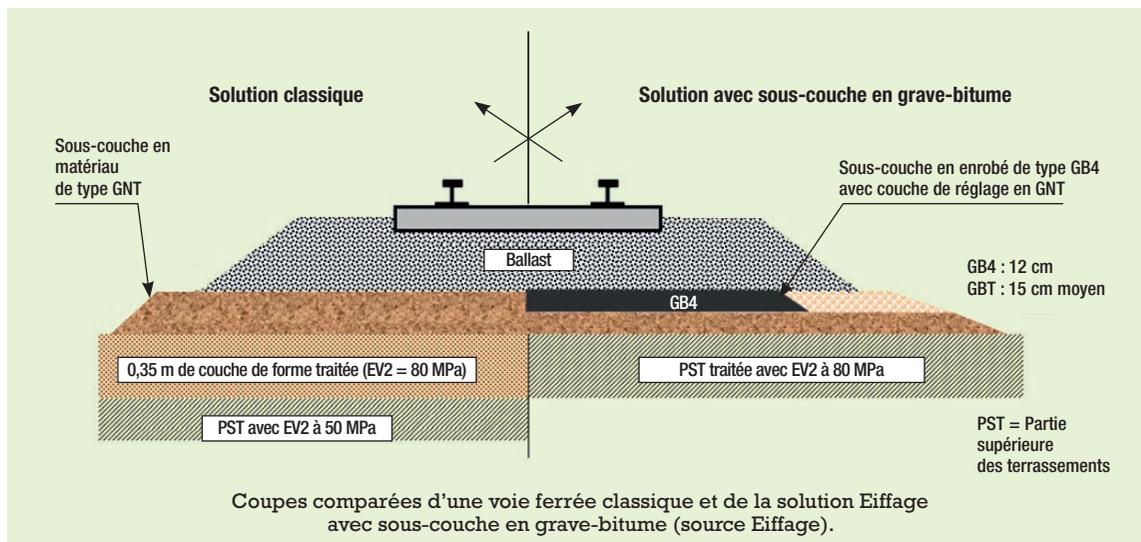


ferroviaire (de l'ordre de cent ans), nous avons souhaité un dosage en bitume un peu plus élevé que ne l'indiquait le calcul, poursuit M. Dos Santos. Grâce à notre retour d'expérience sur le réseau AP2R, nous savions que la durée de vie optimale est obtenue avec 4,8 % de bitume et une compacité de 96-97 % (de 3 à 4 % de vides), que nous avons atteinte en 8 passes (jusqu'à 10) des compacteurs. »

Les contraintes d'exécution et les contrôles de qualité, exécutés par les laboratoires de l'entreprise et du maître d'œuvre pendant et après les travaux excèdent de loin ce qui se pratique sur les chantiers routiers, mais, observe-t-on avec sagesse chez Eiffage Grands Travaux, « le coût d'une malfaçon serait tellement élevé qu'on ne prend aucun risque et qu'on ne cache rien ».

Quatre sections seront instrumentées par l'IFSTTAR pour le compte de la SNCF pour observer le comportement de l'ouvrage pendant sa vie opérationnelle : construction classique (référence), section droite, section en courbe et section exploitée également en fret. ☺

4,8 % de bitume et 96-97 % de compacité pour assurer une durée de vie de l'ordre de cent ans.





NUISANCES SONORES

Silence sur le Périph !

Depuis la fin des travaux d'entretien effectués au cours de l'été 2015, un quart du périphérique parisien est désormais recouvert d'enrobés phoniques. Une amélioration certaine du confort pour les riverains de cette « voie communale » qui accueille près de 300 000 véhicules par jour, puisque sur les sections traitées le bruit de roulement est divisé par 3 à 5.

Grâce à la rapidité de mise en œuvre des enrobés, les travaux ont été réalisés de nuit, à partir de 22 h 00, les voies étant rendues à la circulation à 6 h 00.

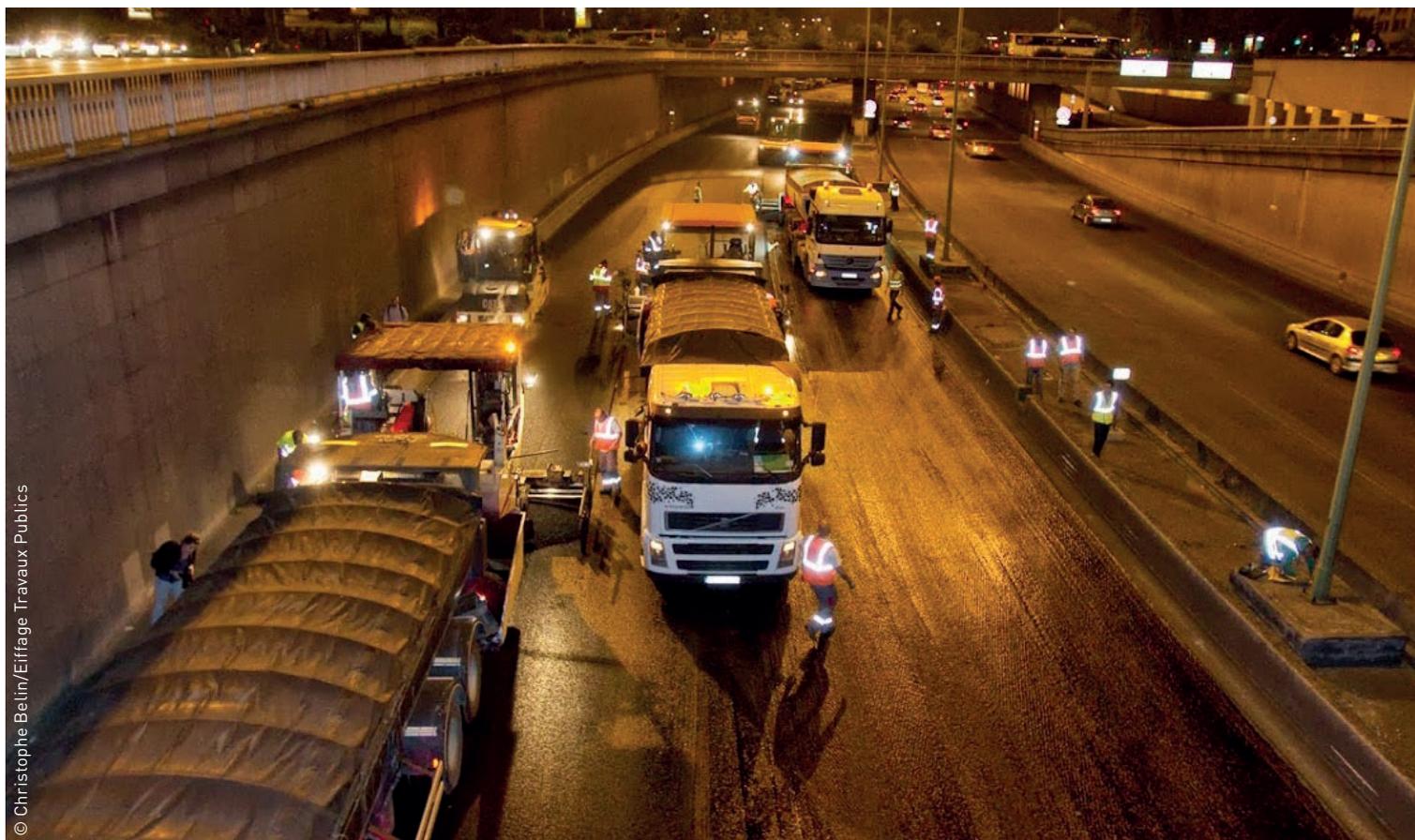
La campagne d'entretien 2015 de la chaussée du boulevard périphérique parisien a porté sur six sections, réparties tout autour de la capitale et totalisant 4,2 km (voies intérieure et extérieure). Il s'agissait non seulement de l'entretien courant des voies, avec rabotage de la couche de roulement et d'une partie de la couche de liaison (sur la voie lente), mais aussi de la poursuite de la démarche initiée par la Ville de Paris en 2012 pour réduire les nuisances sonores de la voie la plus circulée de France avec environ 300 000 véhicules par jour.

Les premiers essais de mise en place de nouveaux revêtements anti-bruit, dits « enrobés phoniques », sur les chaussées et bretelles du Boulevard périphérique avaient été effectués en 2012, au niveau de la Porte de Vincennes, en partenariat

avec Bruitparif, l'observatoire du bruit en Île-de-France. Les différentes mesures réalisées lors de cette expérimentation avaient montré une réduction des bruits de roulement, provoqués par le contact pneu-chaussée, jusqu'à 7 décibels, soit l'équivalent d'une division par cinq du bruit généré par le trafic routier.

Un quart du Périphérique anti-bruit

Ces bons résultats avaient été à l'origine de la décision de la Ville de Paris (direction de la Voirie et des Déplacements), de mettre à profit la campagne d'entretien 2013 pour poser une couche de roulement en enrobé phonique mis au point par Eiffage (Microphone®) sur huit tronçons du périphérique, choisis pour la forte densité des quartiers riverains. Ces huit tronçons, totalisant 3,5 km, représentent 10 % de la longueur du périphé-



© Christophe Belin/Eiffage Travaux Publics

« Il s'agissait non seulement de poser des enrobés phoniques, mais aussi de procéder à l'entretien. »

rique parisien. La campagne 2015 a poursuivi cette démarche, pour six tronçons totalisant 4,2 km de longueur (125 000 m²), si bien que, depuis la fin de l'été 2015, un quart du périphérique est revêtu d'enrobés anti-bruit.

« Il s'agissait non seulement de poser des enrobés phoniques, mais aussi de procéder à l'entretien de la chaussée, comme en 2013, car le périphérique de Paris est soumis à de rudes contraintes du fait de son trafic extrêmement élevé, explique Jimmy Pluquet, directeur d'agence Eiffage Travaux Publics et responsable du chantier. Pour cela, nous avons raboté la voie lente sur 7,5 cm et les voies rapides sur 2,5 cm, avant de les recharger sur les mêmes épaisseurs d'une couche de liaison pour la voie lente et d'une couche de surface en enrobé phonique maison, Eiffage Microphone®, sur toute la largeur. »

Performances de texture et de durée de vie

Les enrobés ont été fabriqués à base de bitume classique pour la couche de liaison et de bitume modifié au butadiène styrène* (Biprène 83®) pour la couche de roulement. « Le choix d'un bitume fortement modifié, très adhésif, était rendu nécessaire pour permettre à la couche de roulement en enrobé phonique, présentant une teneur en vides élevée, de résister dans les meilleures conditions au trafic très élevé, poursuit Jimmy Pluquet. Grâce à sa formulation, cet enrobé présente les mêmes performances en texture de surface et en durée de vie que son équivalent classique. »

Les 15 000 tonnes d'enrobés ont été posées de nuit, entre 22 h 00 et 5 h 30, de début juin à mi-août 2015, en fonction des autorisations préfectorales. Les nuits de renforcement, le rabotage pré-



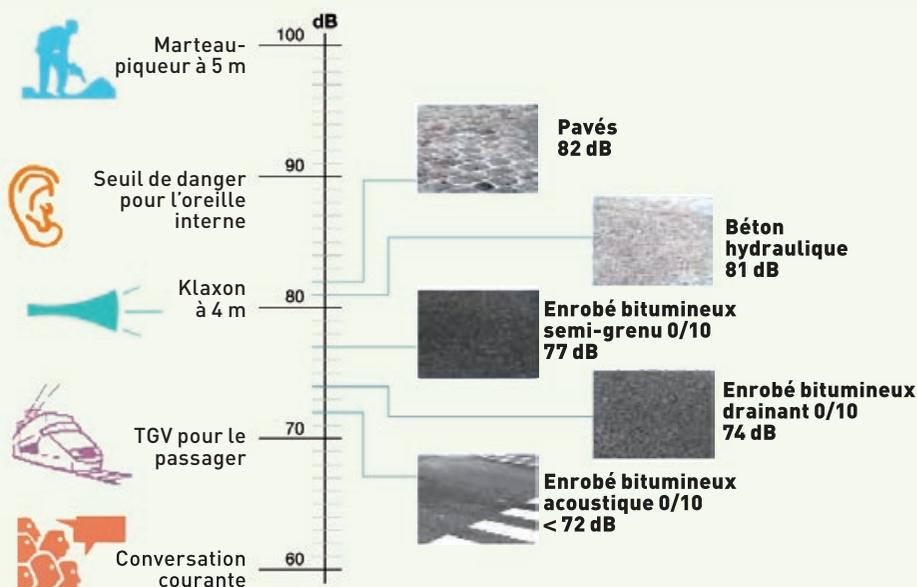
© Christophe Belin / Eiffage Travaux Publics

cedait la pose de la couche de liaison, cette double opération impliquant un phasage précis des travaux. La couche de liaison comporte 30 % de fraisats, issus des rabotages de la campagne 2013.

La pose de la couche de roulement a été effectuée en pleine largeur, de façon à éviter les joints longitudinaux et les risques d'infiltration d'eau et à lui assurer la plus grande durée de vie possible. C

L'enrobé phonique, très ouvert, réduit significativement le bruit du contact pneu-chaussée.

Revêtement de chaussée et nuisances sonores



Source : GPB

C'est en observant les bonnes performances acoustiques des enrobés drainants à pourcentage de vide élevé, que les ingénieurs de la profession routière se mirent à étudier des formulations en vue d'obtenir un abaissement du bruit de roulement provoqué par le contact pneu-chaussée. « Quand on fait un produit acoustique, on cherche à obtenir un certain pourcentage de vide afin de piéger l'air, explique-t-on chez Eiffage Travaux Publics. On fait aussi le choix d'une distribution

granulométrique discontinue, en diminuant la taille maximale des gravillons, tout en conservant une texture suffisante pour l'adhérence des pneus. » Pour satisfaire à ces diverses contraintes, les enrobés acoustiques proposés par les entreprises routières présentent des granularités de type 0/6 ou 0/4 avec une texture ouverte. Le liant est un bitume modifié aux polymères, pour assurer une bonne tenue des performances mécaniques dans le temps. Les performances des revêtements

acoustiques n'ont cessé de s'améliorer, la réduction de bruit par rapport à un enrobé classique allant de 6 à 9 dB(A). Le prix de revient de ces produits est supérieur à celui des enrobés classiques à cause du concassage spécial des granulats et de la nature du liant bitumineux, aussi les maîtres d'ouvrage les réservent-ils au traitement des points noirs, là où les nuisances sonores liées à la circulation se font particulièrement sentir, en zones urbaines et périurbaines.

*Le styrène est un liquide qui bout à 145,2 °C.

ÉTANCHÉITÉ

Une innovation pour une toiture-terrasse



Pas d'odeur ni de fumée, un confort amélioré avec l'utilisation d'un bitume de nouvelle génération.

Pas de bitume oxydé pour le complexe d'étanchéité de la toiture-terrasse de l'usine d'eau potable de Choisy-le-Roi, mais un bitume additivé utilisé à température réduite.



Conformément aux recommandations de la Chambre syndicale française de l'étanchéité (CSFE), l'entreprise Étrandex en charge de la réfection de 5 000 m² de terrasses de l'usine Edmond-Pépin du syndicat des eaux d'Île-de-France (SEDIF), à Choisy-le-Roi, a préféré un bitume de nouvelle génération pour le complexe d'étanchéité destiné à protéger la structure de béton hydraulique d'un de ses bâtiments.

« Le fait qu'une toiture soit plate présente des contraintes importantes en matière d'étanchéité et d'isolation thermique, car le moindre défaut se traduira, plus ou moins rapidement, par une fuite et des dégradations importantes, explique Manuel Decoodt, de l'entreprise Étrandex, en charge du chantier. Une terrasse représente, en effet, une surface particulièrement exposée aux intempéries et au soleil, c'est pourquoi les travaux d'isolation et d'étanchéité doivent être exécutés avec le plus grand soin. »

Performances analogues

Les travaux d'étanchéité des toitures-terrasses sont réglementés et décrits par plusieurs documents techniques

unifiés (DTU), aujourd'hui normalisés, établis par la Commission générale de normalisation du bâtiment sous la supervision du CSTB, ainsi que par des recommandations professionnelles rédigées par la Chambre syndicale française de l'étanchéité (CSFE). Conformément aux recommandations de la CSFE, les bitumes oxydés en blocs (EAC, pour enduits d'application à chaud, bitumes de collage entre les membranes et autres chapes), couramment employés jusqu'en 2012, ne sont désormais plus utilisés en France pour la réalisation de la plupart des complexes d'étanchéité.

« Le bitume oxydé était employé en étanchéité de toiture pour sa plus grande résistance aux variations de température, mais sa classification

Une mise en œuvre aux nombreux avantages



1

Pains de bitume



2

Passage des pains au fondoir



3

Épandage du bitume d'étanchéité



4

Pose de l'isolant thermique



5

Soudure de la membrane d'étanchéité

par le Centre international de recherche sur le cancer (IARC) dans la catégorie 2A (probablement cancérogène pour l'homme) a incité les fournisseurs et les utilisateurs à rechercher d'autres solutions, explique Marc Kerorgant, de Total. Pour obtenir des performances analogues mais sans les inconvénients HSE du bitume oxydé, nos ingénieurs de recherche ont développé un nouveau liant, à base de bitume de distillation directe additivé, ALTEK ECO² B, permettant le collage d'isolants thermiques, de membranes d'étanchéité ou d'isolant en verre cellulaire. »

Nombreux avantages

Le complexe d'isolation et étanchéité de l'usine de Choisy-le-Roi, posé sur la structure de béton, est composé de plusieurs couches superposées :

- primaire d'imprégnation,
- enduit d'application à chaud (bitume ALTEK ECO² B de Total),
- dalles de verre cellulaire (Foamglas®) pour l'isolation thermique,
- première étanchéité bitumineuse (Soprema),

- deuxième étanchéité bitumineuse avec protection anti-UV de paillettes d'ardoise (Icopal).

« La mise en œuvre de cette technique, à la température de 160 °C au lieu des 220-230 °C nécessaires à l'application des bitumes oxydés présente de nombreux avantages, poursuit Manuel Decoodt. Pas d'odeur ni de fumées, une sécurité et un confort nettement améliorés pour les applicateurs. L'adhésivité de l'ALTEK ECO² B est supérieure à celle des bitumes oxydés, et sa viscosité à la température de pose rend les opérations de collage aisées. La seule contrainte supplémentaire par rapport à la technique ancienne est la nécessité impérieuse de la thermorégulation des fondoirs à bitume, mais nous la pratiquons déjà par souci de sécurité. La diminution des températures d'application (jusqu'à 70 °C de moins) permet d'obtenir des économies d'énergie substantielles. »

Une équipe d'application, composée de quatre personnes, dont un préposé aux fondoirs, pose jusqu'à 200 m²/j.

Le matériel de mise en œuvre est léger : un fondoir thermorégulé, quelques torches à gaz, un arrosoir... Le bitume est livré sous la forme de pains de 20 kg, et le primaire d'imprégnation en bidons de 30 l. La masse des rouleaux de feuilles d'étanchéité bitumineuses ne doit plus désormais dépasser 25 kg, pour éviter les troubles musculo-squelettiques (TMS). ☺

Une des plus grandes usines d'eau potable

L'usine Edmond-Pépin de Choisy-le-Roi, qui appartient au syndicat des eaux d'Île-de-France, est l'une des plus grandes usines d'eau potable du monde. Elle fournit chaque jour 340 000 m³ d'eau à 59 communes, totalisant 1,85 million d'habitants du sud de la banlieue parisienne, et elle peut, si nécessaire, doubler sa production pour assister l'usine de Neuilly-sur-Marne. Exploitée par Veolia Eau, elle est aujourd'hui équipée d'une filière biologique utilisant le couplage ozone-charbon actif en grains qui reproduit en accéléré les mécanismes de l'épuration naturelle de l'eau à travers le sol.



Entretien avec Anne-Marie Herbourg, présidente de l'Association des directeurs techniques départementaux (ADSTD), directrice générale adjointe chargée de l'aménagement du département de Meurthe-et-Moselle et coprésidente de la CoTTTA-Est (Conférence technique interdépartementale des transports et de l'aménagement Grand Est).

bitume.info : Dans le contexte difficile des contraintes budgétaires qui est celui que connaissent les départements depuis plusieurs années, quelles sont les libertés de manœuvre pour les responsables techniques des infrastructures, plus particulièrement les gestionnaires de réseaux routiers ?

Si l'on prend l'exemple d'une collectivité comme la nôtre, Meurthe-et-Moselle, où nous n'avons pas de problème particulier puisque nous nous sommes désendettés depuis 2006, il a fallu faire des choix pour le budget 2015, et pour 2016 la situation reste sans réelle visibilité. Nous avons déjà réduit certaines dépenses, parfois en supprimant des politiques

plaçant l'utilisateur et les acteurs locaux au cœur de leur politique. Déjà, certains départements ont déterminé une nouvelle hiérarchisation de leur réseau reposant sur le triptyque suivant : d'abord une démarche privilégiant la recherche d'itinéraire, ensuite une approche multicritère de la mobilité - économique, d'aménagement du territoire... -, enfin une révision des niveaux de service, en matière non seulement d'entretien, de maintenance des chaussées, mais également de viabilité hivernale et de services de transport.

En Meurthe-et-Moselle, nous avons globalement renforcé le niveau de service du réseau structurant et maintenu celui du réseau principal, mais nous avons revu à la baisse celui du réseau local. Parallèlement, de nombreux départements ont engagé des négociations avec les communes et intercommunalités en vue de transférer une partie de leur patrimoine. Certains même, se demandent, lorsque deux routes relient les mêmes communes, s'il ne faut pas en privilégier une et abandonner l'entretien de l'autre.

Quelle que soit la méthode privilégiée, ce type de démarche, pour aboutir, doit privilégier un dialogue avec les acteurs et usagers des territoires, reposer sur le travail et l'adhésion de tous les agents de la ligne métiers de mobilités (infrastructure et transport).

b.i : De quelle façon est-il possible d'optimiser les moyens et les ressources limités qui sont ceux des départements ?

A.-M. H. : D'abord, l'optimisation peut passer par la mutualisation des moyens. Des moyens financiers, sur le modèle de ce que Meurthe-et-Moselle et Moselle ont fait lorsque nous avons créé une infrastructure d'accès au site de Belval au Luxembourg, avec un cofinancement auquel participent le Grand-Duché, l'État, la Région et les conseils départementaux des deux départements traversés à hauteur de 20 %. C'est d'ailleurs le même esprit qui a animé l'État lorsqu'il a décidé de réintégrer un volet routier (RN) dans les nouveaux contrats de plan État-Région (CPER). Il est dommage que

« Nous avons besoin d'un dialogue nouveau avec les entreprises »

Anne-Marie Herbourg : La liberté de manœuvre dépend déjà des orientations stratégiques décidées par les assemblées départementales, de l'importance qu'elles accordent aux infrastructures à un moment où les comportements en matière de mobilités évoluent. Aujourd'hui, de nombreux élus savent combien la gestion du patrimoine routier revêt un caractère déterminant pour l'attractivité et le développement économique territoriaux. En revanche, les modes d'entretien et de maintenance des chaussées doivent évoluer pour des raisons financières. Les contraintes budgétaires que les départements connaissent vont perdurer, c'est une certitude. Elles s'expliquent essentiellement par le différentiel entre le coût des allocations individuelles de solidarité (le revenu de solidarité active, l'allocation personnalisée d'autonomie et la prestation de compensation du handicap) et les compensations versées par l'État, qui restent inférieures à ce que représente cette charge (de l'ordre de 15 milliards).

publiques qui ne relèvent pas de nos compétences, mais nous ne maîtrisons pas les dépenses sociales, puisque nous appliquons la politique nationale existant depuis le transfert et que les prévisions annuelles de dépenses sont toujours en deçà de la réalité. Ce constat est valable pour tous les départements.

La question est donc pour les responsables des infrastructures de continuer à gérer un patrimoine routier avec des moyens restreints. Les approches diffèrent selon les départements. Si dans de nombreux départements la programmation des travaux neufs est différée, nous travaillons tous de façon approfondie sur une programmation souvent pluriannuelle de nos travaux d'entretien. Il s'agit de viser une gestion optimisée de notre patrimoine de façon à déterminer les opérations prioritaires à engager en fonction certes de l'état de notre voirie, mais aussi des besoins des usagers. Pour ce faire, les départements se réinterrogent sur l'ensemble des mobilités en

les RNIL (routes nationales d'intérêt local, transférées aux départements) ne puissent pas faire l'objet d'une inscription à ces CPER sur des itinéraires de dimension interdépartementale. Mutualisation des moyens humains aussi, déjà expérimentée avec le transfert des parcs de l'équipement ; là tout est encore à imaginer.

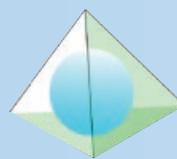
Cette optimisation passe aussi par des réponses techniques adaptées en cohérence avec l'évolution des niveaux de service évoquée précédemment. C'est pourquoi, au sein de l'ADSTD, nous insistons fortement sur l'intérêt d'une hiérarchisation des réseaux, harmonisée à l'échelle nationale. Cette approche, élaborée avec l'aide du CEREMA, dans le cadre des travaux de GEPUR (gestion de l'entretien du patrimoine urbain et routier) repose sur une hiérarchisation liée aux fonctions de mobilité, en considérant le rôle que joue chaque infrastructure dans les déplacements des personnes et le transport des marchandises. Il importe de pouvoir différencier ces réseaux en fonction de la spécificité de leur usage, toujours dans une approche privilégiant des itinéraires. On ne traite pas de la même façon une route à fort trafic, une route à faible trafic, une route à faible trafic mais qui relie des points stratégiques pour l'économie des territoires et les usagers, une route rurale à trafic presque nul mais qui doit supporter le passage d'engins agricoles lourds... Parallèlement, les départements se sont dotés de système d'information routière pour acquérir une connaissance fine de leur réseau, adapter au mieux les techniques pour optimiser la programmation de travaux. Cette optimisation passe également par un nouveau type de relations à développer avec les entreprises, des relations de partenariat, de façon à aborder ensemble les questions qui posent problème et à les résoudre d'une manière plus créative, moins coûteuse et plus durable. Nous ne voulons plus être seulement des donneurs d'ordres faisant exécuter des prestations selon un cahier des charges défini, nous ne voulons plus que la profession se contente de répondre aux marchés proposés par les gestionnaires d'infrastructures que nous sommes. Nous souhaitons construire un dialogue

différent et, surtout, créer ensemble de nouvelles relations opérationnelles qui permettront de résoudre les problèmes dans une concertation plus imaginative : c'est tout le débat sur la « route économe » à laquelle travaille l'ADSTD dans les différentes instances (IDRRIM, COMOAR...)

b.i : Avez-vous observé des changements dans les choix techniques, et quels sont vos attentes et vos souhaits dans ce domaine ?

A.-M. H. : Les choix techniques ont déjà largement évolué, mais ce n'est plus suffisant. Dans de nombreux départements, des conventions volontaires d'engagement ont été signées. S'inscrivant dans une approche de développement durable, elles privilégient le recyclage, les basses températures, les techniques à froid... Il nous faut aller plus loin dans l'innovation, avec une innovation qui nous permette certes, de développer des routes dites de 5^e génération, mais aussi des innovations au quotidien visant au traitement spécifique de chaque type d'infrastructures, en portant une attention fine à la technique appropriée, à la durée de vie des chaussées qu'elle permet d'atteindre et bien sûr aux coûts.

Il faut pouvoir répondre aux problèmes, par exemple des désordres constatés rapidement après le renouvellement des couches de roulement, notamment pour les enduits superficiels. Quelle est l'origine de ces désordres (qualité du liant, savoir-faire ?), ou encore la dégradation croissante des couches de roulement en période hivernale. Les solutions alternatives aux enduits et ECF doivent être recherchées. Les innovations techniques qui en résulteront permettront aux entreprises de consolider leur activité voire de se développer, tant dans des pays développés recherchant une optimisation des moyens que dans les pays émergents. Avec des budgets importants, on a parfois fait de la surqualité. Il ne faut pas en rougir, elle a permis de maintenir des emplois et de disposer d'un patrimoine encore en bon état. Nous ne sommes plus dans cette situation. Il faut créer un nouvel élan, un



Association des Directeurs de Services Techniques Départementaux

L'ADSTD anime depuis près de trente ans un réseau d'échanges qui concerne aujourd'hui des activités liées non seulement aux infrastructures routières, mais également aux mobilités (transports, très haut débit...), aux collèges et bâtiments, à l'environnement et à l'ingénierie territoriale. Plus de 200 membres, représentant la quasi-totalité des départements, participent aux travaux de cette association professionnelle regroupant des directeurs et directeurs généraux adjoints de départements intervenant dans les champs techniques des conseils départementaux. La connaissance fine des territoires et des politiques publiques, permet à l'ADSTD :

- d'élaborer et de promouvoir une réflexion stratégique commune à l'ensemble des lignes de métiers techniques ;
- de partager les enjeux, les expériences dans une recherche de mutualisation des compétences et d'optimisation des moyens ;
- de constituer une force de propositions tant à l'échelle départementale, interdépartementale, qu'au niveau national.

partenariat renoué avec les entreprises. Et franchement, là, nous en avons les moyens. J'ai en tête l'exemple de l'affaissement d'un pont de propriété communale : alors que les premières expertises s'orientaient vers la reconstruction de l'ouvrage, les réflexions conjointes des services techniques départementaux mobilisés dans le cadre d'une ingénierie technique et de l'entreprise ont abouti à une solution de relevage bien moins onéreuse. La signature de conventions d'engagement volontaire de 2^e génération doit être l'occasion de ce nouveau partenariat, d'un nouveau dialogue, pour la définition d'un modèle de développement économique revisité avec les entreprises conciliant performance et optimisation des moyens. La question de l'évolution de la réglementation et des normes doit s'inscrire dans ce débat. Et, surtout, nous devons toujours répondre aux attentes des usagers, leur montrer que nous avons des solutions pour assurer leur mobilité quotidienne dans de bonnes conditions de sécurité et de confort, pour entretenir le même linéaire de voirie avec des budgets moindres, voire de faire comme eux « plus avec moins ».

Face aux contraintes budgétaires



Le département du Gers a toujours fonctionné avec un budget modeste pour l'entretien de son patrimoine routier. Aussi les techniciens des routes se sont-ils adaptés sans difficultés aux récentes contraintes budgétaires, avec le soutien de leurs élus, grâce à la hiérarchisation du réseau et l'élargissement du domaine d'application des techniques à froid.



Avec 130 000 habitants et 3 550 km de routes départementales, le Gers ne bénéficie pas d'un ratio très favorable au financement de ses infrastructures en comparaison avec d'autres départements. « Le Gers a la particularité de consacrer un budget serré aux infrastructures routières, aussi sommes-nous dans une optique permanente d'optimisation des techniques routières pour entretenir le patrimoine, commente Fabrice Bert-Latrille, directeur adjoint Déplacements Infrastructures. Au contraire d'autres départements, qui avaient l'habitude de tout faire en enrobés à chaud et qui doivent changer du tout au tout leur approche de l'entretien après avoir subi des coupes budgétaires sévères, nous, pour répondre à un budget toujours restreint, nous nous étions engagés depuis plusieurs années dans une rationalisation des coûts par l'emploi de techniques à froid pour l'entretien de nos chaussées. »

Hiérarchisation préalable

Situé à l'ouest de Toulouse (Haute-Garonne), le Gers (chef-lieu : Auch) est traversé par deux grands axes routiers, la RN 21, nord-sud, et la RN 124, est-ouest. Les 3 550 km du réseau départemental sont classés depuis 2005 en quatre catégories :

- réseau d'intérêt régional (RIR), sur lequel il y a le plus gros trafic ;
- réseau interdépartemental de niveau 1 (RID 1), sur lequel le trafic est un peu moindre ;
- réseau interdépartemental de niveau 2 (RID 2), avec un trafic encore moindre (434 km) ;
- réseau d'intérêt cantonal (RIC), qui a la particularité d'être un réseau de petites routes semblables aux voies communales, avec des largeurs de 4,5 à 5 m (2 672 km).

« Le préalable à notre politique d'entretien du réseau a été sa hiérarchisation

en fonction du territoire, de l'économie, du trafic..., poursuit Fabrice Bert-Latrille. À partir de cette hiérarchisation, nous avons pu fixer une politique d'entretien qui prend en compte les budgets, l'environnement, et l'usage de la route. La hiérarchisation, c'est la clé d'entrée qui permet de développer une politique homogène sur tout le département. »

Matériaux bitumineux à froid

Pour allier budget et préservation du patrimoine routier, les responsables de l'entretien des routes départementales du Gers se sont toujours appuyés sur les techniques à froid : enduit superficiel (ESU), matériau bitumineux coulé à froid (MBCF), grave-émulsion (GE) et béton bitumineux à l'émulsion (BBE). En 2000, un chantier innovant (voir encadré) a été réalisé et suivi au cours du temps, pour évaluer les performances techniques d'un BBE, avec l'objectif d'ajuster les politiques d'entretien de demain.

Ces techniques présentent des avantages économiques, techniques et environnementaux qui permettent de répondre à des contraintes à la fois budgétaires et de développement durable et s'inscrivent parfaitement dans l'Agenda 21 du département, dont un des objectifs est une gestion durable du patrimoine routier.

« Il faut cependant noter que les techniques à chaud ne sont pas exclues de notre politique d'entretien, observe Stéphane Saint-Lary, adjoint au chef du service Modernisation, en charge de la rénovation du réseau. Elles sont utilisées pour leurs performances, afin de répondre à des contraintes spécifiques, comme les efforts tangentiels sur un giratoire ou un trafic routier supérieur à T2. »

La politique d'entretien, dont les matériaux bitumineux à froid constituent la

composante principale, s'articule différemment pour chaque catégorie du réseau :

- Sur les deux premières catégories du réseau (RIR et RID1), le renforcement des chaussées se fait par l'emploi de BBE 0/10 de 3 à 7 cm, pour une durée de vingt ans (déflexion $\leq 150/200$ mm pour un trafic T2, $\leq 200/100$ mm pour un trafic T3), avec reprise de la couche de roulement par un enduit coulé à froid (ECF) après dix ans, pour assurer l'imperméabilisation de la chaussée et l'adhérence indispensable à la sécurité ;
- Sur le réseau d'intérêt départemental niveau 2 (RID2), avec des trafics PL inférieurs, les déflachages réalisés à la niveleuse tous les 15 ans en GE 0/10, suivis l'année d'après de la pose d'un ESU, garantissent la qualité du support et la préservation du patrimoine (pour reprendre des profils en travers déformés ou des dévers de courbe, un reprofilage généralisé avec emploi d'un BBE peut être envisagé) ;
- Sur le réseau d'intérêt cantonal (RIC), la politique d'entretien nommée ARE (assainissement, reprofilage, enduits) se déroule sur deux années : au cours de la première année, les travaux préparatoires (curage, entretien des ouvrages, déflachages localisés), réalisés en régie, sont suivis l'année d'après de la pose d'un enduit de type monocouche simple gravillonnage MCSG0 6/10 le plus souvent. La période de retour de cet entretien est fixée entre 12 et 15 ans, en fonction du trafic routier.

Moins de travaux préparatoires

L'un des avantages qu'entraîne l'utilisation généralisée des techniques à froid est la diminution significative des travaux préparatoires, dont les coûts sont divisés par trois par rapport aux techniques à chaud, du fait notamment de la suppression des purges de chaussée pour des déflexions caractéristiques supérieures à 90-100/100 mm.

« L'autre avantage économique des techniques à froid actuelles est qu'elles peuvent assurer en une seule couche le reprofilage ainsi que l'imperméabilisation et l'adhérence attendues d'une couche de roulement, avec des BBE répondant au cahier



Pose et compactage d'une couche unique de béton bitumineux à l'émulsion.

des charges et aux normes, fait valoir Stéphane Saint-Lary. On gagne ainsi une intervention, puisqu'après le BBE on n'a plus besoin de réaliser un enduit. »

Les services techniques effectuent ensuite un suivi qualitatif sur l'ensemble des chantiers de couche de roulement pendant les deux premières années, parfois pendant plus longtemps (jusqu'à dix ans), pour connaître l'évolution des matériaux et ajuster à court ou moyen terme les stratégies d'entretien.

Réalité du terrain

Le recours au reprofilage de plus en plus localisé s'est traduit par un besoin de mieux connaître l'état des chaussées et a fait apparaître les limites des mesures de profil en long (APL). Le Gers expérimente donc depuis 2015 l'appareil d'auscultation Astra qui permet d'acquérir en un seul passage non seulement l'APL, mais aussi différents types de données, comme le profil transversal, les caractéristiques géométriques, etc., et de calculer précisément les quantités réelles de matériau à froid à mettre en œuvre sur la chaussée dans le cadre de son entretien.

« Nous pourrions ainsi mieux coller à la réalité du terrain et poser des matériaux seulement là où il y en a vraiment besoin, observe Fabrice Bert-Latrille. Cette précision, ajoutée à l'emploi généralisé des techniques à froid, doit nous permettre, à budget constant, de remplir nos objectifs d'entretien du patrimoine, ce qui n'aurait pas été possible si nous nous étions tenus aux méthodes tradi-



Chantier innovant

Dans le cadre d'une charte de l'innovation avec l'entreprise Colas, un BBE a été mis en œuvre en une seule application et en épaisseur variable de 3 à 8 cm, sur une section de 3 km de la RD 943, appartenant au réseau RID 2. Cette couche unique sert à la fois de couche de reprofilage et de couche de roulement définitive. Un protocole de suivi dans le temps a été mis en place, avec notamment des mesures de l'uni longitudinal, de l'uni transversal et de la PMT à 1 an, 3 ans et 5 ans. Les résultats des essais ont permis de mesurer une amélioration de l'uni et de la macrostructure avec le temps.

tionnelles à chaud. Nous pensons par ailleurs que les techniques ne sont pas au bout de leurs capacités, et que de nombreuses évolutions sont possibles dans l'avenir, à condition que les différents acteurs (entreprises, collectivités et organismes publics) y consacrent les efforts de recherche nécessaires. C'est pourquoi nous sommes très ouverts à l'innovation. »

Un nouveau guide technique d'entretien

Un an après le Livre blanc de l'IDRRIM, *Entretien et préserver le patrimoine d'infrastructures de transport : une exigence pour la France*, le groupe de travail GEPUR publie la première partie de son guide technique d'entretien, intitulé *Routes interurbaines et traverses d'agglomérations*. Hugues Odéon, de la direction territoriale Est du CEREMA, chef du groupe Géotechnique, Terrassements et Chaussées et responsable de GEPUR, en brosse les grandes lignes pour les lecteurs de *bitume.info*.



© DR

Hugues Odéon

À l'origine de la création du groupe de travail GEPUR (Gestion de l'entretien du patrimoine urbain et routier), il y a le constat rappelé dans le Livre blanc de l'IDRRIM, *Entretien et préserver le patrimoine d'infrastructures de transport : une exigence pour la France* : l'entretien du patrimoine national que représente notre réseau d'infrastructures routières, clé de voûte de l'économie par le transport des marchandises et de la vie sociale par le déplacement des personnes, est un impératif pour les pouvoirs publics.

« Dans le souci légitime d'avoir une vision de leur plan de charge et d'aider les donneurs d'ordres à planifier leurs commandes, les professionnels de la route, représentés au sein de l'USIRF, ont souhaité lancer une enquête sur les pratiques de gestion de l'entretien au sein des collectivités, explique Hugues Odéon. Au printemps 2012, l'IDRRIM s'est adressé aux présidents de la

CoTITA est, qui ont proposé une étude intéressant une dizaine de départements et plusieurs villes de l'est de la France. Dans cette étude, menée par et pour les collectivités, ce sont les techniciens des collectivités qui partagent leur savoir-faire et décrivent leurs méthodes. »

Techniciens compétents

Le Livre blanc de l'IDRRIM explique aux décideurs publics pourquoi les collectivités ont tout intérêt à bien évaluer l'état de leurs routes et à programmer les travaux d'entretien nécessaires, en s'appuyant sur leurs services techniques.

Dans cette optique, le but des travaux de GEPUR, destiné aux techniciens, est double : d'une part, produire une méthode éprouvée de gestion et de programmation de l'entretien en se fondant sur le retour d'expériences des techniciens des collectivités, et, d'autre part, constituer un réseau technique où peuvent se retrouver en tant que communauté de métiers des techniciens qui ne travaillent pas au sein des mêmes collectivités.

« Le fait de participer à cette communauté va leur donner plus de légitimité vis-à-vis de leurs donneurs d'ordres, poursuit Hugues Odéon. Ils pourront ainsi expliquer à leurs élus que les solutions techniques qu'ils proposent ne sont pas issues de leur réflexion personnelle, mais qu'elles correspondent à un choix raisonné, partagé par les professionnels de la région. »

Un fait inquiétant

Dans son préambule, le guide technique d'entretien réalisé à la suite des travaux de GEPUR pointe un fait inquiétant : si le réseau national, concédé et non concédé, fait l'objet d'un entretien satisfaisant, il n'en va pas toujours de

même pour les réseaux départementaux et communaux. Ainsi, au rythme actuel des interventions sur ces réseaux, le taux de renouvellement des couches de roulement n'est que de 4 à 8 %, ce qui implique une durée de vie comprise entre 12 et 25 ans, beaucoup plus que les 8 à 12 ans que permettent les techniques actuelles (20 ans pour des routes très peu circulées)... Si ces chiffres ne sont pas revus à la hausse de façon significative, on peut s'inquiéter de la pérennité de notre patrimoine routier.

« Cette réduction des crédits dévolus à l'entretien des routes, note l'ouvrage, se traduit en qualité d'usage, mais aussi en termes d'emplois locaux et d'image pour la collectivité. En effet, l'entretien des routes repose sur des entreprises routières, nationales ou locales, dont les agences réparties sur l'ensemble du territoire constituent un employeur de proximité, y compris pour des personnes faiblement qualifiées. L'état des routes est aussi la première impression perçue par l'utilisateur sur la collectivité gestionnaire, et la remise à niveau d'un itinéraire est considérée par l'utilisateur comme une marque d'attention du maître d'ouvrage envers lui. »

Aider les gestionnaires de réseau

Le guide a pour but d'aider les gestionnaires de réseau routier à organiser la gestion et l'entretien de leurs chaussées. Les premiers chapitres permettent de hiérarchiser les réseaux en plusieurs catégories, puis de définir pour chacune d'elle un niveau de service de référence. Les chapitres suivants proposent une méthodologie d'évaluation de l'existant, puis une démarche de programmation, enfin une description des solutions techniques envisageables.

La connaissance de l'état du réseau et sa hiérarchisation sont les préalables indispensables à l'élaboration et à la mise en œuvre d'une politique d'entretien optimisée. L'état des lieux, rappelle le guide, a pour objectif de faire la synthèse des connaissances du réseau routier selon différents aspects, intégrant notamment les caractéristiques géométriques et structurelles, les seuils de trafic, les pratiques d'entretien et les

budgets alloués. « *Le croisement de ces données permettra, dans un premier temps, d'apprécier la valeur financière du réseau, puis d'en élaborer une méthodologie d'entretien intégrant les coûts, pratiques et spécificités locales.* »

Le guide propose donc une méthode de récolement des informations sur le réseau : longueur, surface des routes 2 x 2 voies, 2 x 1 voie, largeur > 6 m, largeur < 6 m, proportion du réseau en zone urbaine, en montagne, classe du trafic PL, surface annuelle moyenne de renouvellement des couches de roulement, etc. Le gestionnaire est ensuite invité à collecter les informations relatives aux couches de surface (coût moyen et période de renouvellement), puis aux structures en place (type de structure, largeur, classe de trafic, portance de la plate-forme).

Hiérarchisation des réseaux

« *Dans un deuxième temps, poursuit Hugues Odéon, on va définir une hiérarchisation en 3 ou 4 classes des routes en fonction de leur usage : la petite route d'intérêt local qui dessert deux communes, la route départementale qui relie deux villes moyennes, celle qui dessert des pôles économiques ou des sites touristiques, ou encore celle qui assure la continuité avec les départements voisins...* »

La hiérarchisation établie, il est possible de définir le niveau de service attendu pour chaque catégorie de voies. Ces niveaux sont repérables grâce à un certain nombre d'indicateurs de dégradations quantifiables : ressuage, plumage, arrachements, désempolement, orniérage, faïençage, déformations, fissures transversales et/ou longitudinales, signalisation verticale et/ou horizontale, état des rives, etc.

La comparaison entre l'état constaté du réseau à l'instant *t* et les niveaux de service attendus a pour but de permettre de prendre, en connaissance de cause, la décision d'engager les travaux d'entretien nécessaires pour maintenir la chaussée au niveau d'usage souhaité, ou pour l'y hisser.

« *On essaie de traduire ces critères techniques en notions qualitatives directement accessibles aux élus*

comme la sécurité, le confort de conduite, l'agrément du parcours, etc., précise Hugues Odéon. *Ce double niveau de lecture permet au technicien de parler facilement avec l'élu en charge des routes. C'est le cœur de la méthode : réussir à définir des critères à la fois généraux et techniques qui vont permettre de fixer les seuils d'entretien en deçà desquels il faudra programmer une nouvelle couche.* »

Différentes techniques d'entretien

Le guide consacre de nombreuses pages à la présentation des différentes techniques d'entretien : BBM, BBTM, BBSG, BBME, ESU, MBCF, à leurs domaines d'emploi et à ce qu'on peut en attendre, ainsi qu'aux scénarios types de stratégie d'entretien en fonction des types de trafics et de structures, sur des cycles de trente ans.

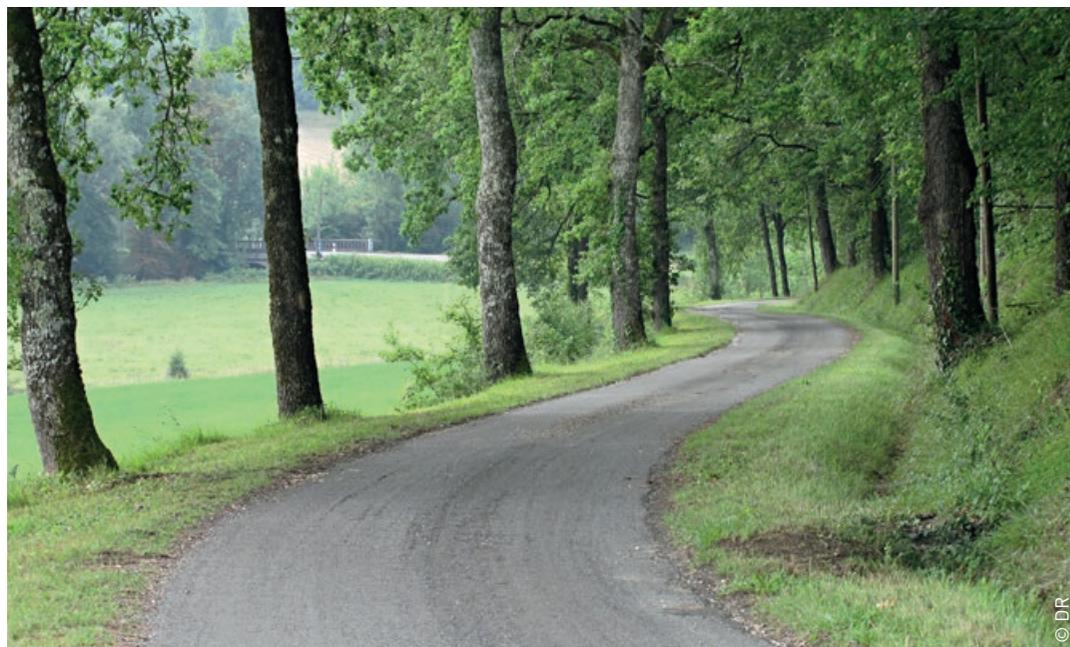
L'objectif est ici de permettre l'élaboration de budgets, en fonction de la stratégie choisie par les techniciens, ou celle des programmes d'entretien, en fonction du budget voté par la collectivité. Le plus souvent, estiment les auteurs de l'étude, les budgets ne permettront pas de mettre en œuvre les programmes issus des analyses techniques, qui devront être ajustés de façon itérative, souvent à la baisse.

Plusieurs solutions peuvent alors être envisagées :

- des tronçons de route sont retirés du programme prévisionnel (ce qui revient à réduire la qualité d'usage d'un certain nombre de ces tronçons) ;
- la répartition des techniques par catégorie est modifiée ou d'autres techniques d'entretien moins coûteuses sont adoptées pour maintenir le linéaire entretenu ;
- la répartition des routes par catégories est modifiée (ce qui revient à déclasser un certain nombre de routes) ;
- le niveau de service pour une catégorie de routes donnée est modifié (ce qui revient à réduire la qualité d'usage moyenne du réseau), par exemple en allongeant la durée de vie moyenne des couches de roulement.

« *Aucune de ces solutions n'est satisfaisante à long terme, et il faut s'attendre à devoir programmer des travaux d'entretien plus importants si l'on veut retarder le plus longtemps possible les coûteux travaux de réhabilitation, observe Hugues Odéon. C'est pourquoi nous devons faire comprendre aux élus des collectivités gestionnaires des infrastructures routières que leur responsabilité va au-delà de la durée de leurs mandats.* »

La hiérarchisation du réseau, préalable indispensable à une politique d'entretien.



Après vingt ans de bons et loyaux services, la méthode de dimensionnement française des chaussées est-elle encore pertinente ou ne conviendrait-il pas de la faire évoluer ? Telle est la question centrale du projet national « Durée de vie des chaussées » (DVDC) qui débute à l'automne 2015.

Certaines dégradations de surface s'expliquent mal par la fatigue des matériaux.

Un nouveau projet national de recherche collaborative sur la route

Coordonné par l'Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (IREX), le futur projet national « Durée de vie des chaussées » (DVDC) se propose de rassembler dans une recherche collaborative des représentants de toute la gamme des métiers de la route : entreprises de construction, fournisseurs de matériaux, bureaux d'études, laboratoires publics et privés, centres de recherche, universités, écoles d'ingénieurs, experts consultants... Il s'agit d'un projet à plusieurs volets qui permettra, entre autres, d'évaluer la méthode française de dimensionnement des chaussées, de définir les moyens les plus pertinents de caractériser l'état d'un réseau routier, de prédire son évolution et d'optimiser le choix des techniques d'entretien.

« La méthode française de dimensionnement des chaussées, à laquelle se réfère notre communauté routière depuis vingt ans, repose sur un modèle selon lequel le vieillissement est lié principalement à la fatigue des matériaux, explique Christine Leroy, directeur des affaires techniques de l'USIRF. Mais peut-on dire d'une chaussée d'autoroute, qui possède une structure d'une grande robustesse, et d'une chaussée souple à structure légère qu'elles vieillissent et meurent toutes deux de fatigue ? »

Qu'est-ce qui fait vieillir une chaussée ?

Répondre à cette interrogation – qu'est-ce qui fait vieillir et mourir une chaussée ? – est en effet le préalable indispensable pour répondre aux questions pratiques

que se posent les gestionnaires de réseaux routiers : Quelle est la durée de vie de mon réseau ? Quelles techniques d'entretien faut-il lui consacrer, à quel moment ?

Le projet DVDC, comme le décrit son étude de faisabilité (octobre 2014), entend distinguer durée de vie de la structure et durée de vie de la couche de roulement : « La durée de vie structurelle de la chaussée est constituée par la période écoulée depuis sa date de mise en service jusqu'à l'apparition de dommages nécessitant une reconstruction au moins partielle. Alors que la durée de vie d'une couche de roulement est caractérisée par la période écoulée depuis sa date de mise en service jusqu'à l'apparition des dommages ou de caractéristiques dégradées nécessitant son entretien. »

De l'avis des concepteurs du projet, si la démarche de dimensionnement de la méthode française, qui consiste à comparer les sollicitations calculées dans la structure avec les sollicitations admissibles déterminées à partir du comportement en fatigue des matériaux, et les stratégies d'entretien qui en découlent sont satisfaisantes pour les chaussées autoroutières, elles laissent fortement à désirer pour les chaussées souples, qui constituent la plus grande partie des réseaux départementaux et communaux.

Plusieurs lois de dommages

« La quasi-totalité des chaussées autoroutières ont été conçues et construites selon la méthode française de dimensionnement, avec des hypothèses de trafic élevé, et leur vieillissement et leur entretien sont parfaitement connus, rappelle Bernard Héritier. Il en va très différemment pour les réseaux départementaux, dont le dimensionnement et l'entretien ont souvent été fonction des budgets disponibles, et dont on connaît mal les structures et l'histoire. C'est pourquoi nous avons placé au cœur de notre démarche un effort systématique de connaissance de ces réseaux et de leur évolution par retour d'expérience. »

Les concepteurs du projet DVDC n'hésitent pas à regarder ce qui se fait dans d'autres pays, en particulier outre-Atlantique. Aux États-Unis, la méthode de type mécanique-empirique MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide), en vigueur depuis une dizaine d'années et basée sur un modèle de calcul des sollicitations dans la chaussée et l'utilisation de plusieurs lois de dommage (fatigue, orniérage), est utilisée pour prédire la durée de vie des chaussées. Cette méthode très complète intègre dans ses calculs la réponse de la chaussée aux variations climatiques et prend en compte l'évolution des caractéristiques des matériaux que celles-ci provoquent, mois après mois. Pour les chaussées bitumineuses, la méthode MEPDG considère plusieurs mécanismes d'endommagement : fissuration de fatigue, fissuration par le haut, fissuration thermique, orniérage et évolution de l'uni.

Cycles gel-dégel à répétition

« Nous sommes encore marqués par les conséquences du gel profond de l'hiver 1962-1963, qui fut à l'origine du programme de renforcement de notre réseau routier, observe Bernard Héritier, président de la RGRA, et ancien directeur technique d'Eiffage Travaux Publics. Aujourd'hui, alors que nous sommes entrés dans une ère de changement climatique avec peu de chances de retrouver de telles conditions, peut-être devrions-nous donner du poids à d'autres facteurs et nous intéresser, par exemple, aux effets des cycles gel-dégel à répétition autour de 0 °C qui provoquent d'importantes dégradations sur certains types de revêtements, notamment des bétons bitumineux minces (BBM) et des bétons bitumineux très minces (BBTM). Il nous paraît important de comprendre ce qu'il se passe dans les isothermes autour de 0 °C, où les matériaux gorgés d'eau gèlent, se dilatent, se déforment puis se dégradent. »

Bétons bitumineux minces et très minces

Bien des questions se posent encore. Par exemple, faut-il découper plus finement le territoire en fonction des caractéristiques climatiques ? Les paramètres ne sont pas les mêmes en Rhône-Alpes, en Bretagne ou en Languedoc-Roussillon. Les Américains l'ont bien compris, qui découpent les États-Unis en zones climatiques : le gestionnaire de réseau dans le Nord-Est ne fera pas les mêmes choix techniques que celui des Grandes Plaines ou de la Côte pacifique.

Pour répondre aux interrogations que se posent les techniciens, le projet a été découpé en thèmes et sous-thèmes :

- état de l'art (durée de vie et techniques d'entretien, mécanismes des modes de dégradation, méthodes de mesure et d'auscultation) ;
- verrous scientifiques et techniques (méthode de dimensionnement des chaussées neuves, évaluation de l'endommagement d'une chaussée existante) ;
- programme de recherche (mécanismes de dégradation des chaussées,

caractérisation de l'état du réseau, évaluation de la durée de vie résiduelle des couches de chaussée, méthodes de dimensionnement et d'entretien).

Dimension collaborative

Le projet DVDC est un des rares projets nationaux, avec MURE et IMPRO-MURE (cf. *bitume.info* n° 30 p. 19), consacrés à la route. Le montage financier et la coordination sont assurés par l'IREX, fondé conjointement en 1989 par les ministères de la Recherche, de l'Équipement et la FNTP (Fédération nationale des entrepreneurs de travaux publics), dont l'objet principal est le montage et le suivi d'actions de recherche collectives – financées en commun par plusieurs partenaires – dans le domaine de la construction.

« Notre institut soutient ce projet, notamment en raison de sa dimension collaborative, explique Brice Delaporte, directeur technique de l'IREX. La construction routière est un domaine qui fait appel à de nombreux métiers, et les actions collaboratives y sont particulièrement utiles pour faire avancer toute la profession dans une même direction en produisant des "livrables", c'est-à-dire des résultats de la recherche qui peuvent être transmis à l'ensemble de la communauté sous une forme utilisable directement, par exemple sous la forme de recommandations ou de guides techniques. »

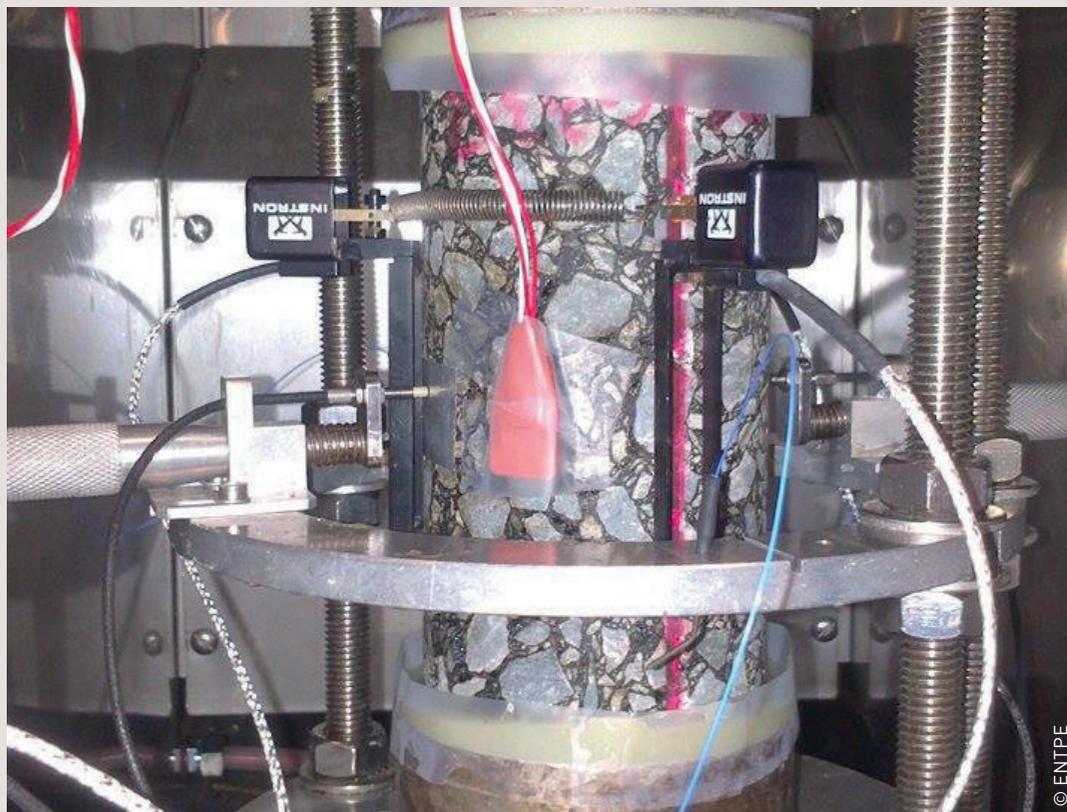
Un effort systématique de connaissance des réseaux départementaux reste à faire.



LA RECHERCHE SE POURSUIT

UNE THÈSE TRÈS REMARQUÉE

Effets du recyclage sur les performances des enrobés



Éprouvette instrumentée au laboratoire de l'ENTPE de Vaulx-en-Velin.

La thèse sur les effets du recyclage sur les performances des enrobés bitumineux, soutenue en juin 2014 par Salvatore Mangiafico, a suscité un grand intérêt et a donné lieu à de multiples publications.

L'utilisation des agrégats d'enrobés recyclés (AER) est en effet appelée à prendre une place de plus en plus importante dans la construction routière, en raison de la diminution des coûts et des impacts environnementaux qu'elle permet. Mais le recyclage à taux élevés n'a-t-il pas des conséquences sur la qualité des enrobés et du bitume recyclé ? C'est à donner une réponse scientifique à cette question que s'attache cette thèse de doctorat sous l'impulsion d'Eiffage Travaux Publics et de BP et sous la direction du Professeur Hervé Di Benedetto et du Dr Cédric Sauzéat (ENTPE, Lyon). Rencontre avec le jeune chercheur et son maître, pour en savoir un peu plus sur leur démarche et les résultats de leurs travaux.

bitume.info : Votre thèse touche à des questions qui intéressent fortement la communauté routière, puisqu'elle traite des conséquences de la présence des agrégats d'enrobés recyclés (AER) sur la qualité du bitume et celle des enrobés. Pouvez-vous nous préciser dans quel contexte vous avez mené vos travaux ?

Salvatore Mangiafico : Les travaux de thèse ont été menés dans le cadre d'une collaboration entre l'ENTPE, donc l'université de Lyon, à laquelle elle appartient, Eiffage Travaux Publics, dont j'ai été salarié durant ma thèse, et BP, qui ont fourni les matériaux et mis leurs laboratoires français et allemand et leur savoir-faire à notre disposition.

L'objectif était une investigation concernant l'impact du taux de recyclage sur les performances thermomécaniques des matériaux bitumineux, bitumes et enrobés. Le recyclage des enrobés est une pratique de plus en plus répandue dans l'industrie en raison de ses nombreux avantages, mais qui reste encore assez empirique dans sa démarche. L'étude a été menée avec une finalité professionnelle, d'une part, et des objectifs scientifiques plus fondamentaux, d'autre part. Nous avons donc utilisé les essais classiques de l'industrie destinés à caractériser les matériaux lors de la formulation d'une chaussée et d'un enrobé (pénétrabilité, bille et anneau, SARA, Fraass pour les bitumes, et module complexe et fatigue pour bitumes et enrobés). Parallèlement, dans une perspective de recherche scientifique plus fondamentale, nous avons fait des essais plus poussés,

Du grain à l'ouvrage

notamment dans notre laboratoire de l'ENTPE, afin d'éclaircir un peu le phénomène du recyclage. Tous les essais normalisés ont été réalisés dans les entreprises, tandis que les essais plus scientifiques ont été conduits dans notre laboratoire, à l'ENTPE.

b.i : Votre recherche s'est focalisée sur l'influence du taux d'AER sur certaines caractéristiques mécaniques des enrobés, comme le module complexe ou la fatigue. À quelles méthodes et à quels outils avez-vous fait appel pour mettre en évidence ces phénomènes ?

S. M. : La thèse comportait deux thématiques principales. L'une était consacrée à l'influence du taux de recyclage et de la nature du bitume d'apport sur les performances mécaniques des enrobés. Pour cette thématique, on a utilisé trois bitumes d'apport classiques : un bitume dur 15/25, un 35/50 et un 70/100. Et différents taux de recyclage, 0, 20, 40 et 60 %, plus un enrobé fabriqué avec 100 % d'agrégats, ce qui a demandé beaucoup d'efforts (il a fallu faire une extraction complète du bitume de l'agrégat puis utiliser ce bitume pour réaliser avec les granulats issus de l'opération un mélange reproduisant exactement la courbe granulométrique de l'enrobé initial). Ce nouvel enrobé ne comportait strictement rien d'autre que les granulats et le bitume provenant des agrégats.

Hervé Di Benedetto : Nous voulions travailler au niveau fondamental et pouvoir proposer une modélisation permettant d'obtenir à partir du bitume de l'agrégat d'enrobé, quel que soit le pourcentage d'AE considéré, l'ensemble du comportement viscoélastique linéaire des mélanges de bitumes et des enrobés contenant l'AE, sur toute la gamme de fréquences et de températures. C'est pourquoi nous avons fabriqué des mélanges « parfaits » de bitumes,

dans lesquels le bitume d'agrégats et le bitume d'apport étaient parfaitement mélangés. À partir d'une méthode développée par notre équipe, nous avons pu estimer le comportement des enrobés correspondants, fabriqués avec les mêmes bitumes dans les mêmes

Le Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes (LTDS) contribue à la formation des élèves ingénieurs de ses établissements de rattachement (École nationale des travaux publics de l'État, École centrale de Lyon et École nationale d'ingénieurs de Saint-Étienne). La recherche appliquée y est prépondérante, mais il s'intéresse aussi à la recherche fondamentale, pour laquelle il forme des élèves de haut niveau.

Le groupe de chercheurs qu'anime le professeur Hervé Di Benedetto et dont fait partie Salvatore Mangiafico appartient à l'équipe Géomatériaux et Constructions durables (GCD) du Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes (LTDS) qui est associé au CNRS et rattaché à l'École centrale de Lyon, l'École des TPE et l'École nationale d'ingénieurs de Saint-Étienne. Cette équipe est formée de spécialistes du génie civil et des géomatériaux. « Notre démarche se résume en quatre mots : "du grain à l'ouvrage", explique le Pr Di Benedetto. Cela va des nanoparticules, de quelques dixièmes de micron, aux rochers de quelques dizaines de mètres, en passant par les particules d'argile, de l'ordre du centième de millimètre, les sables, de l'ordre du millimètre, les billes de verre, les enrobés bitumineux, les différentes fibres, les briques, etc. Nous y faisons des investigations avec des outils expérimentaux et de modélisation assez poussés. Par exemple, nous faisons du béton bitumineux numérique, mais aussi de la modélisation d'ouvrages. Nous faisons partie des équipes de pointe au niveau international. »

Le laboratoire pratique une recherche où ce qui relève de la science fondamentale ne perd jamais de vue les applications industrielles. C'est pourquoi les entreprises font régulièrement appel à ses compétences pour les aider à résoudre tel ou tel problème, comme en témoignent les nombreuses thèses dont les travaux ont été effectués au sein du LTDS : thèse sur l'utilisation des FRRC® (Fibre- Reinforced Roller-Compacted Concrete) et Ertalh® (Enrobés recyclés traités aux liants hydrauliques), avec EIFFAGE Travaux Publics dans le cadre du projet ANR Recyroute ; post-utilisations des bardeaux bitumineux (*shingles*), avec Lafarge ; couplage des effets thermiques et mécaniques des essais de fatigue (développé dans la thèse de S. Mangiafico) ; modélisation de l'orniérage et des déformations permanentes ; propriétés de la couche de roulement des ponts orthotropes (viaduc de Millau), avec EIFFAGE Travaux Publics dans le cadre du projet ANR Orthoplus ; développement d'un nouveau type de rhéomètre, à cisaillement annulaire, appelé *annular shear rheometer*, et investigation du comportement de liants bitumineux avec Total ; comportement de la grave-bitume sous ballast, avec la SNCF...



Les félicitations du jury lors de la remise de son doctorat d'État à Salvatore Mangiafico (à gauche).

proportions. Nous nous sommes alors aperçus que le comportement constaté des enrobés avec agrégats n'est pas tout à fait conforme à ce que les calculs permettent d'attendre si le mélange des liants est parfait. Ce qui signifie que le mélange n'est pas parfait. C'est surtout vrai pour ➔

➔ les pourcentages de recyclage très élevés, supérieurs à 40 %. Pour les enrobés à taux d'agrégats faibles à élevés, de 10 à 40 %, l'écart reste négligeable. Ce mélange partiel des bitumes, pour des taux de recyclage très élevés (> 40 %), ne conduit cependant pas forcément à des performances thermomécaniques dégradées. Savoir quelle partie du bitume est mélangée et laquelle ne l'est pas est un point que nous sommes encore en train d'approfondir, avec une approche « micro-macro » afin de passer de la microstructure au comportement de la macrostructure...

S. M. : Pour cette première thématique, nous avons utilisé 21 enrobés, dont certains fabriqués avec un agent de recyclage bio-sourcé pour voir si cela avait une influence (sur la remobilisation du bitume vieilli), et 13 bitumes différents, parmi lesquels des bitumes rectifiés à l'air, des bitumes modifiés et fortement

modifiés aux polymères, des bitumes traités à l'acide phosphorique...

La seconde thématique était focalisée sur l'influence des différents paramètres de formulation sur les performances d'un enrobé avec agrégats d'enrobés. Nous avons commencé par travailler avec un enrobé avec 20 % d'AE, ce qui est assez classique dans l'industrie, pour vérifier si les cinq autres paramètres de formulation ont une influence : courbe granulométrique continue ou discontinue (type GB5®), teneur en bitume, minéralogie des agrégats et nature du bitume d'apport et du filler d'apport.

Nous avons utilisé 16 enrobés car nous avons regardé la formulation en général, mais il fallait prendre en compte les deux paramètres principaux, la nature et la teneur en bitume d'apport. Nous avons donc travaillé sur une seconde sous-thématique, avec 8 enrobés différents, ce qui a représenté

un total de 23 enrobés, car nous avons utilisé la même formulation pour les deux sous-thématiques.

Les deux thématiques intéressaient fortement BP et EIFFAGE Travaux Publics. Les expériences ont été réparties dans trois laboratoires industriels, les laboratoires centraux de Corbas et de Ciry-Salsogne en France pour EIFFAGE et le laboratoire de Gelsenkirchen en Allemagne pour BP, tandis que nous nous réservions, à l'ENTPE, les essais fondamentaux. Nous avons en effet réalisé des essais plus poussés que ceux qui sont pratiqués couramment dans les entreprises, mais qui ne sont pas d'un grand intérêt scientifique car ils ne permettent pas d'avoir accès aux propriétés fondamentales des enrobés. Ainsi, à partir d'essais de traction et compression sur des éprouvettes cylindriques d'enrobés, classiques sur le plan scientifique, nous avons balayé une gamme très large de températures et fréquences, et nous avons utilisé les données pour caler des modèles analogiques avec lesquels nous sommes capables de modéliser en viscoélasticité linéaire n'importe quel matériau bitumineux, à n'importe quelle température et fréquence, à condition de connaître les propriétés des deux bitumes de base et leur proportion dans le mélange.

H.D.B : La thèse de Salvatore a été l'occasion, en partant des travaux d'une autre thèse (réalisée également à l'ENTPE) qui avait commencé à investiguer ce phénomène, de mettre en évidence, identifier et quantifier des phénomènes qui perturbent l'analyse des résultats des essais de fatigue. Ces phénomènes peuvent donner lieu à des erreurs de l'ordre de 90 %. En effet, lorsqu'on réalise un essai de fatigue, ce qu'on observe et mesure, ce n'est pas la fatigue mais la décroissance du module de rigidité du matériau, au fur et à mesure qu'on lui applique une charge répétée. Nous avons montré que cette décroissance du module, dans le cas des essais en laboratoire, est due en très grande partie à des phénomènes parasites. Ces phénomènes deviennent importants à cause de la répétition des chargements à cadence élevée, sans temps de repos, à

Banc d'essai en flexion deux points pour échantillons d'enrobé bitumineux au laboratoire d'EIFFAGE Travaux Publics de Ciry-Salsogne, France.



© Eiffage Travaux Publics

la différence de ce qu'il se passe sur la route, où l'intervalle de temps qui sépare le passage de deux véhicules permet au matériau de récupérer ses propriétés. Un de ces effets est l'échauffement de l'éprouvette, dû à la chaleur créée par la dissipation de l'énergie visqueuse provenant de la nature viscoélastique des matériaux bitumineux. Les élévations de température de 1 à 2 °C mesurées dans les éprouvettes représentent de 5 à 10 % de rigidité en moins, ce qui est important. Lorsque Salvatore a présenté ses travaux au congrès de l'AAPT (Association of Asphalt Pavement Technologists) en mars 2015, ces résultats ont fait l'effet d'un pavé dans la mare car ils remettent largement en cause la validité physique de l'approche de modélisation adoptée aux États-Unis !



Essai de cisaillement dynamique (DSR) sur bitume au laboratoire BP de Gelsenkirchen, Allemagne.

b.i : À quelles conclusions êtes-vous parvenus concernant la pratique du recyclage à taux élevé ? En particulier, à quelles conditions celui-ci doit-il être réalisé pour préserver la qualité des enrobés ? Et peut-on tirer des conclusions de vos travaux sur le recyclage multiple ?

Notre conclusion est que le recyclage, également à fort taux (> 40 %) est une

alternative bien réelle, à condition de savoir ce que l'on est en train de faire. C'est pourquoi l'approche purement empirique ne peut pas marcher, on a besoin d'une approche plus fondamentale pour être plus efficace. On a vu que certaines combinaisons, par exemple certains taux de recyclage (> 40%) avec

certains bitumes, peuvent donner de meilleurs résultats que des enrobés avec bitumes neufs, même en fatigue. Il faut poursuivre notre travail d'investigation et de modélisation et la mise à jour de nos connaissances sur les propriétés fondamentales des matériaux bitumineux. Cela en vaut la peine. ☺

Pour en savoir plus, des articles de publications scientifiques internationales

1. Mangiafico, S., Di Benedetto, H., Sauzéat, C., Olard, F., Pouget, S., Planque, L. (2013). "Influence of Reclaimed Asphalt Pavement content on complex modulus of asphalt binder blends and corresponding mixes: Experimental results and modeling". *Road Materials and Pavement Design*, 14 (Supplement 1), 132-148. doi : 10.1080/14680629.2013.774751

2. Mangiafico, S., Di Benedetto, H., Sauzéat, C., Olard, F., Pouget, S., Planque, L. (2014). "New method to obtain viscoelastic properties of bitumen blends from pure and Reclaimed

Asphalt Pavement binder constituents". Road Materials and Pavement Design, 15, 312-329. doi : 10.1080/14680629.2013.870639

3. Mangiafico, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Pouget, S., Olard, F., Planque, L., van Rooijen, R. (2014). "Statistical analysis of the influence of mix design parameters on mechanical properties of asphalt mixes with Reclaimed Asphalt Pavement materials". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2445, 29-38. doi : 10.3141/2445-04

4. Mangiafico, S., Di Benedetto, H., Sauzéat,

C., Olard, F., Pouget, S., Dupriet, S., Planque, L., van Rooijen, R. (2015). "Statistical analysis of the influence of RAP and mix composition on viscoelastic and fatigue properties of asphalt mixes". *Materials and Structures*, 48, 1187-1205. doi : 10.1617/s11527-013-0225-z

5. Mangiafico, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Pouget, S., Olard, F., Planque, L. (en cours de publication). "Quantification of biasing effects during fatigue tests on asphalt mixes: non-linearity, self-heating and thixotropy". *Accepted pour publication dans Road Materials and Pavement Design*.

doi : 10.1080/14680629.2015.1077000

Des articles de publications techniques françaises et internationales :

Mangiafico S., Di Benedetto H., Sauzéat C., Olard F., Pouget S., Planque L. (2013). "Viscoelastic properties of bitumen blends obtained from pure and RAP-extracted binders". *European Road Review*, 21-22 (Fall 2012 - Spring 2013), 38-43.

Mangiafico, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F., Pouget, S., Dupriet, S., Planque, L., van Rooijen, R., (2015)

"Effet de l'ajout d'agrégat d'enrobé sur le module complexe et la résistance en fatigue des enrobés bitumineux". *RGRA*, 928 (juin 2015) 35-40

Acceptés pour publication dans RGRA

Mangiafico, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F., Pouget, S., Dupriet, S., Planque, L., van Rooijen, R., (en cours de publication). "Influence de la formulation des enrobés bitumineux sur leurs performances mécaniques : contribution par l'analyse statistique". *RGRA*, 930

Mangiafico, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H.,

Olard, F., Pouget, S., Dupriet, S., Planque, L., van Rooijen, R., (en cours de publication). "Loi viscoélastique de mélange entre bitume pur et bitume extrait d'agrégat d'enrobé". *RGRA*, 929

Des communications et des posters ont été présentés par les auteurs dans de nombreux congrès et conférences nationales et internationales :

5th Euraspalt & Eurobitume Congress, Istanbul, June 2012

2nd International Symposium on Asphalt Pavements & Environment, Fortaleza,

October 2012. *Les Entretiens du RGC&U*, October, 2012. [en français] 5th European Asphalt Technology Association Conference, Braunschweig, June 2013

1st International RILEM Conference on Rheology and Processing of Construction Materials, Paris, September 2013

Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington, DC, January 2014

90th Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Portland or, March 2015

Imaginez
un Monde
sans nous !

www.bitume.info

GPB
Groupe
Professionnel
des Bitumes

Imaginez
un Monde
sans nous !

www.bitume.info

GPB
Groupe
Professionnel
des Bitumes

Imaginez
un monde
sans nous !

www.bitume.info

GPB
Groupe
Professionnel
des Bitumes

Imaginez
un Monde
sans nous !

www.bitume.info

GPB
Groupe
Professionnel
des Bitumes