

# PROJET NATIONAL DVDC

## SYNTHÈSE DES DERNIERS RÉSULTATS

Le projet national Durée de vie des chaussées (DVDC), coordonné par l'Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (Irex), est un programme de recherche collaborative qui s'est déroulé de 2016 à 2023. Parmi ses objectifs, l'optimisation de la planification et du dimensionnement des travaux d'entretien de chaussées ainsi que le développement de méthodes de qualification de l'état des chaussées et de leur durée de vie.



© DR

**L**e projet national (PN) DVDC a associé une quarantaine de partenaires, représentatifs de l'ensemble des acteurs des infrastructures routières : des gestionnaires de réseaux, des administrations, des organismes de recherche, des ingénieries, des entreprises de travaux routiers et des industriels. Les travaux menés dans ce cadre ont reposé sur des approches variées, multidisciplinaires et multi-échelles, certains d'entre eux pouvant être considérés comme relevant de la recherche scientifique, d'autres ayant abouti à des résultats directement transposables dans la pratique. Les apports scientifiques du projet soutenu par l'ANR (Agence nationale de la recherche) moveDVDC (Modélisation du vieillissement et de l'endommagement pour l'évaluation de la durée de vie des chaussées), dédié à certaines problématiques de mécanismes d'endommagement, ont également été intégrés au PN DVDC.

### ENJEUX

Les infrastructures routières sont soumises à un vieillissement naturel induit par des sollicitations externes telles que le trafic et le climat. Leur maintenance et leur entretien représentent un enjeu économique considérable, en particulier dans le contexte où les budgets alloués à ces actions sont de plus en plus restreints par les gestionnaires. Il

s'agit donc de maintenir ce patrimoine dans un état permettant d'assurer ses fonctions avec un niveau de sécurité admissible pour l'utilisateur.

Le patrimoine des infrastructures publiques a une valeur extrêmement importante. Pour les chaussées le constituant, il convient de prendre en considération leur coût de construction, leur amortissement en fonction de leur durée d'exploitation et leur entretien en préservant à la fois leur valeur patrimoniale et leur capacité à rendre le service attendu. Le sous-investissement ou l'absence d'entretien peuvent conduire à leur dépréciation ou, pire, à leur inadéquation progressive aux services pour lesquels elles ont été conçues, entraînant une perturbation de l'économie locale ou nationale et des risques pour les usagers.

Dans le compte général de l'État, les infrastructures routières, qui regroupent les autoroutes, les ouvrages d'art, les dépendances (assainissement), les aires et l'équipement (signalisation, glissières, systèmes d'exploitation), sont valorisées au « coût de remplacement déprécié », soit le coût de reconstruction à neuf diminué du coût d'entretien. Cette valorisation est en principe revue à chaque arrêté de comptes.

Ce montant de 250 milliards d'euros représente 2/3 des immobilisations corporelles de l'État (bâtimens, ports, aéroports...). Si l'on y ajoute les routes départementales et les voies communales (1 million de kilomètres), la valeur de ce patrimoine, en rapport avec l'investissement réalisé

### AUTEURS

**Brice Delaporte**  
Routes de France  
**Simon Pouget**  
Eiffage Route  
**Ludovic Périssé**  
Eiffage Route

pour les construire, est estimée pour l'ensemble à 2 000 milliards d'euros, chiffre se rapprochant du PIB du pays.

L'entretien et le maintien de ce patrimoine est donc un enjeu considérable. Pour un gestionnaire de réseau routier, la connaissance de la durée de vie des structures de chaussées (initiale et résiduelle au cours du temps) est un élément clé pour définir la programmation et la budgétisation de ses dépenses. Mais l'enjeu n'est pas uniquement financier : différentes études ont montré que l'optimisation de l'entretien d'une infrastructure routière, en considérant le cycle de vie complet, contribue à réduire ses impacts environnementaux.

Pour répondre à ces enjeux, les objectifs du projet DVDC se sont concentrés sur l'évaluation de la durée de vie résiduelle des chaussées, à trois échelles différentes :

- à l'échelle d'un réseau routier avec une approche macroscopique de l'état des sections (résultats ayant fait l'objet d'un précédent article dans la RGRA<sup>1</sup>) ;
- à l'échelle de la structure de chaussée, qui s'est attaché aux phénomènes d'apparition de fissures et décollements d'interfaces et les a intégrés dans les modèles d'endommagement ;
- à l'échelle des matériaux de chaussées, en considérant différentes natures de matériaux. Sur ce sujet très vaste, DVDC a porté son intérêt notamment vers une meilleure connaissance du comportement des graves non traitées (GNT), de l'influence des cycles de gel/dégel sur des enrobés bitumineux, des apports de moveDVDC liés au vieillissement des enrobés et de la durabilité des des couches de roulement, dont le choix et l'entretien sont au cœur des préoccupations des gestionnaires.

## ÉCHELLE DE LA STRUCTURE DE CHAUSSÉE

Dans le projet DVDC, l'échelle de la structure de chaussée est naturellement très proche du thème du dimensionnement des chaussées.

Les contributions majeures du projet à cette échelle sont les suivantes :

- des analyses détaillées de l'état de l'art ciblant notamment la prise en compte des portances des plateformes et des matériaux granulaires dans le dimensionnement des chaussées souples et routes non revêtues ;
- des outils pour l'ingénierie routière, accessibles à la communauté routière : développement d'une nouvelle méthodologie destinée à caractériser le niveau de collage des couches in situ<sup>2</sup> et développement d'un modèle éléments finis des différents désordres dans une structure qui auraient un impact (fissure, défaut de collage) sur les bassins de déflexion ;
- des travaux de recherche pour développer des outils de dimensionnement enrichis, combinant mécanique des chaussées et approche probabiliste, mécanique de la rupture (initiation et propagation de fissure) et mécanique du contact (tribologie).

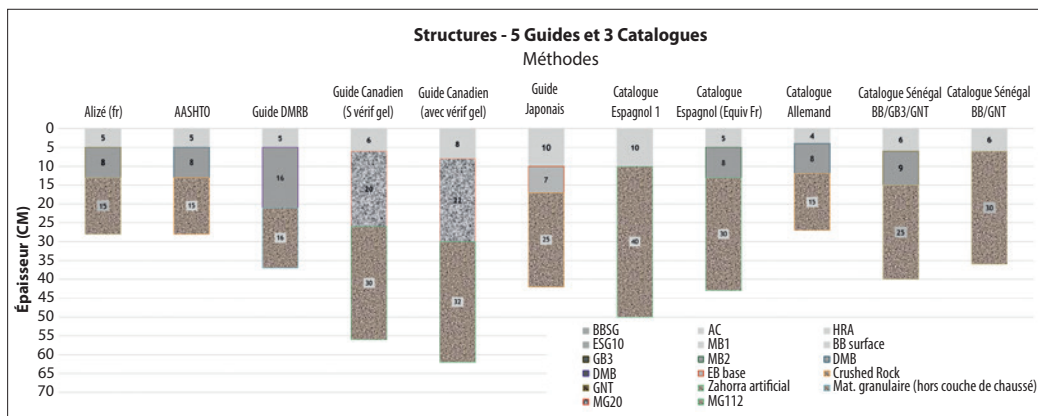
### ANALYSE DE L'ÉTAT DE L'ART DU DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES SOUPLES À L'INTERNATIONAL

Les chaussées souples constituent une part essentielle du patrimoine routier français et international. Leur durée de vie est intimement liée à celle des couches granulaires jouant le rôle d'assise.

Un rapport d'une centaine de pages présente l'analyse bibliographique des différentes méthodes de dimensionnement des chaussées souples et des routes non revêtues à l'international en s'appuyant sur 22 guides ou catalogues de dimensionnement. L'analyse vise à décrire la qualité de portance des plateformes et la prise en compte des matériaux granulaires (des sous-couches de chaussées) dans le dimensionnement.

Ces travaux permettent notamment de dresser une synthèse des hypothèses majeures retenues dans les différentes méthodes étudiées.

Une mise en perspective de huit méthodes (guides et catalogues confondus) appliquées dans la mesure du possible à un même cas de référence est également proposée (figure 1). La Figure 3 illustre cette comparaison.



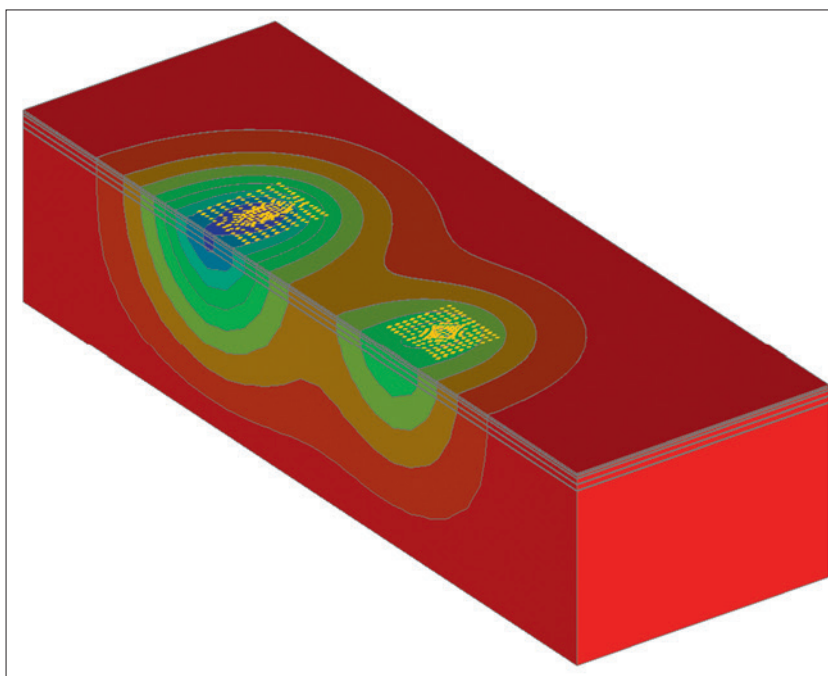
-Figure 1- Exemple de synthèse de l'application de huit méthodes/catalogues - Structure 5BB/8GB3/15GNT/PF2.

Cette étude bibliographique a mis en avant des recommandations appuyant la nécessité de prendre en compte le comportement réel des matériaux routiers pour assurer une plus longue durée de vie aux structures routières. Quelle que soit la méthode de dimensionnement utilisée, l'expérience locale et la révision périodique de ces modèles restent primordiales pour tenir compte des observations de terrain et du comportement de nouveaux matériaux mis en œuvre (liants modifiés, fraisats d'enrobés, enrobés tièdes, enrobés à froid...).

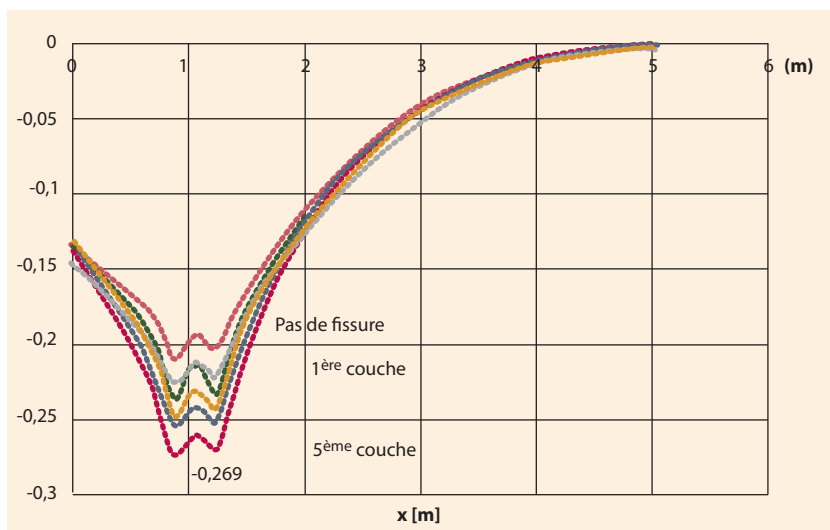
**MODÈLE ÉLÉMENTS FINIS DES DÉSORDRES INFLUANT SUR LES BASSINS DE DÉFLEXION**

L'auscultation des chaussées joue un rôle déterminant dans la gestion du patrimoine. Encore faut-il être en mesure de faire le lien entre les observations

**-Figure 2-**  
Illustration de la réponse du modèle élément finis à un chargement routier.



**-Figure 3-**  
Exemple de l'impact de la présence d'une fissure verticale à différentes profondeurs sur la déflexion transversale.



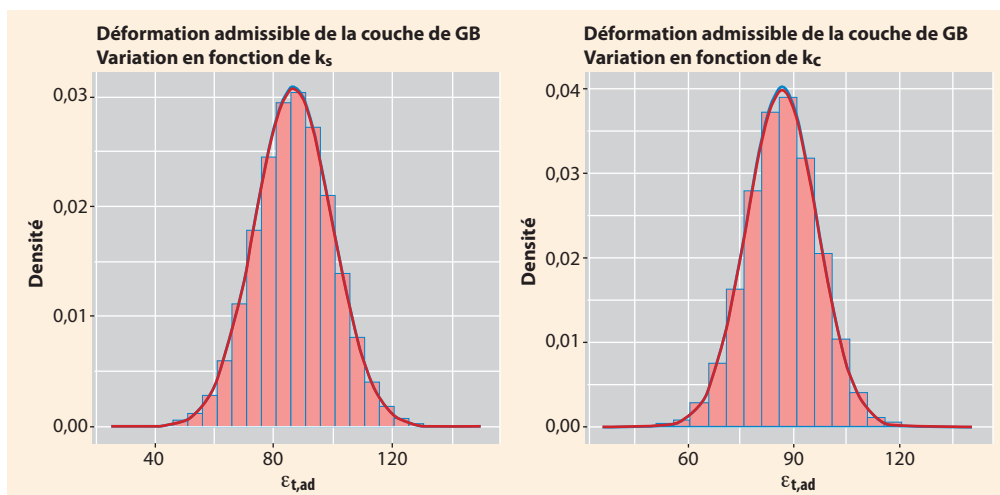
de terrain et l'état réel de la structure. Pour cela, les chercheurs ont développé un modèle éléments finis (figure 2), qui intègre les différents désordres structuraux susceptibles d'avoir un impact sur les bassins de déflexion : décollement entre couches, fissure verticale et variation d'épaisseur.

La figure 3 fournit un résultat élémentaire du modèle appliqué à un cas de fissure verticale à différentes profondeurs dans la structure.

Les principaux enseignements de cette étude sont les suivants :

- Pour les fissures longitudinales verticales, plus la couche qui fissure est profonde, plus l'effet sur le bassin de déflexion est important. La déflexion longitudinale relevée par un calcul de type curviamètre suit cette évolution. Ces tendances sont fortement amplifiées lorsque l'on considère des fissures longitudinales longues.
  - La déflexion relative maximale (comparaison fissurée/non fissurée) issue d'une mesure longitudinale théorique (calcul aux éléments finis) ou estimée par un calcul de type curviamètre est identique pour les chaussées souples (CS1 ou CS2) générant peu d'écart relatif (inférieur à 10 %). Cela confirme le faible intérêt de ce dispositif pour cette catégorie de structure et ce type de mesure. Le calcul de la pente du bassin de déflexion avec des pas de mesure tous les 0,1 m serait capable de détecter ces discontinuités en raison du contraste de rigidité. On observe toujours pour cette catégorie de chaussée des déflexions relatives maximales homogènes dans l'épaisseur de ces structures. Les niveaux de la déflexion relative maximale sont au maximum de l'ordre de 3,5/100 mm, à la limite du détectable.
  - Pour la chaussée bitumineuse épaisse étudiée, la déflexion relative maximale fluctue de la même manière pour la simulation aux éléments finis et le calcul par la méthode du curviamètre. L'amplitude de variation de la déflexion relative maximale est plus importante lorsqu'elle est estimée à l'aide du calcul de type curviamètre. Les niveaux de la déflexion relative maximale sont au maximum de 4,4/100 mm pour les couches les plus profondes, cette grandeur étant alors détectable.
  - De ces comparaisons, on peut déduire qu'un calcul de type curviamètre est d'une sensibilité satisfaisante, permettant de retrouver celle du bassin de déflexion absolue avec un écart relatif de 33 % par rapport à la structure non fissurée.
- Les travaux réalisés pour cette étude, qui visent à accompagner le diagnostic consécutif à des suivis d'auscultation, peuvent :
- être destinés à des bureaux d'études ou à des maîtres d'ouvrage ;
  - dans une perspective plus lointaine, inspirer le volet « structure » du jumeau numérique de l'ouvrage chaussée, sans oublier le volet matériaux ;
  - constituer des cas de référence pour la profession.





**-Figure 4-**  
Modélisation mécanique probabiliste couplée appliquée à la description de la déformation de la grave-bitume (GB) en fonction de la variation de paramètres de conception ( $k_c$  et  $k_s$ ).

### VERS DES MODÈLES MÉCANIQUES ENRICHIS

#### Modélisation statistique des mécanismes physiques combinés de dégradation de la chaussée

Ces travaux très amont posent les bases d'une introduction d'approches statistiques dans les méthodes de dimensionnement en vigueur.

Cette contribution scientifique présente :

- une prise en compte de la variabilité des données relatives à l'entretien routier, avec notamment deux approches différentes : la régression non linéaire mixte et les modèles d'apprentissage automatique ;
- une prise en compte de la variabilité lors de la conception de la structure de chaussée (illustré sur un paramètre de dimensionnement en **figure 4**) :

- rôle plus ou moins important joué par trois paramètres du modèle de dimensionnement : la dispersion sur l'épaisseur d'une couche et les coefficients  $k_s$  et  $k_c$  choisis par le concepteur ;
- variabilité sur les contraintes lorsque des distributions de probabilités sont affectées à certains paramètres d'entrée du modèle.

La dernière interrogation qui s'ouvre est celle de l'impact des variabilités sur les épaisseurs minimales de couches recommandées par la norme de dimensionnement des chaussées<sup>3</sup>.

Même si ces travaux ne sont pas aboutis, ils fournissent les codes sources contribuant à poursuivre d'autres combinant la puissance de l'analyse probabiliste et les outils mécaniques comme le cœur de calcul du modèle Alizé.

#### Modélisations mécaniques avec initiation et propagation de fissure

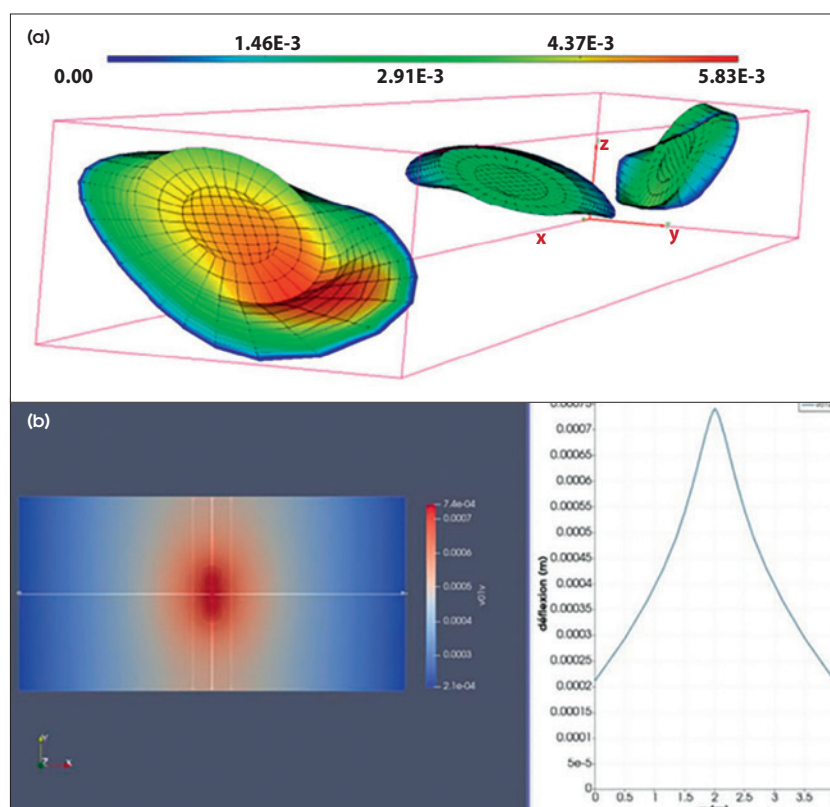
Pour prendre en compte le phénomène de la fissuration dans les outils de conception de chaussée, les ingénieurs ont recours à des méthodes de pénalisation (réduction forfaitaire) de la performance des couches endommagées. L'objectif poursuivi est d'adopter des hypothèses réalistes avec les moyens disponibles afin de prescrire au mieux les solutions de maintenance.

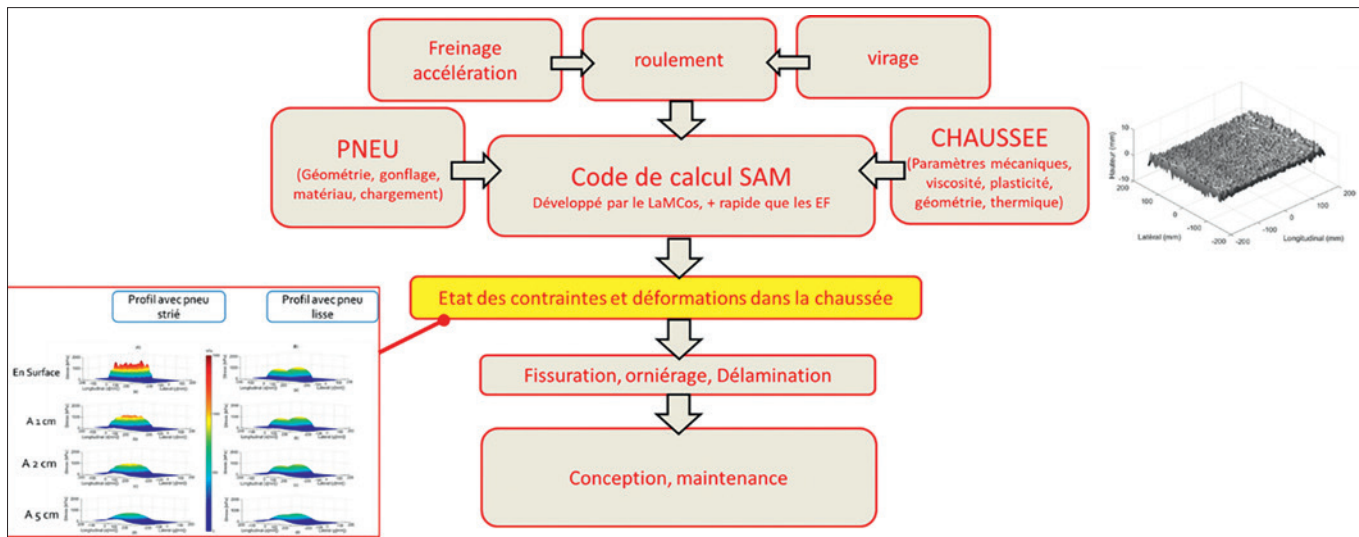
Les équipes de recherche de l'université Gustave Eiffel (UGE) et de l'INSA de Strasbourg ont poursuivi le développement d'outils numériques afin de prendre en compte de manière physique, et non forfaitaire, la fissuration présente dans la structure de chaussée (**figures 5**). L'UGE s'est appuyée sur le modèle M4-5n de type résistance des matériaux<sup>4</sup>. Les travaux de l'INSA de Strasbourg ont été menés en reprenant une partie des résultats du projet Soldugri<sup>5</sup>.

#### Modélisations mécaniques avec prise en compte du contact pneu chaussée (tribologie)

Parmi les pathologies observées sur les structures de chaussées, outre les problèmes de fissurations remontantes et d'orniérage bien connus, on trouve désormais l'apparition de fissures descendantes (*top down cracking*).

**-Figures 5-**  
Illustration des deux modélisations mécaniques avec initiation et propagation de fissure : (a) propagation automatique d'une fissure dans le corps d'une chaussée ; (b) confrontation d'un modèle avec la déflexion sous simulateur de trafic accéléré Fabac.





**-Figure 6-**  
Approche tribologique appliquée aux dégradations de surface des chaussées : synoptique des techniques expérimentales et numériques employées.

Le laboratoire de Génie civil, Diagnostic et Durabilité de l'université de Limoges propose une approche mécanique fondée sur des modèles issus de la science du contact (tribologie) pour étudier cette pathologie. Cette approche originale s'appuie sur le projet ANR Macadam, antérieur au projet DVDC. Elle est essentiellement développée en combinant différentes techniques (figure 6).

La description des surfaces (texture) permet d'établir des cartes de contraintes locales et hétérogènes qui pourront être reliées à des mécanismes de dégradation des couches de surface en intégrant les efforts horizontaux liés aux accélérations et freinages des véhicules (figure 7), aspects ignorés dans les outils actuels<sup>6</sup>.

### ÉCHELLE DES MATÉRIAUX DE CHAUSSEE

#### COMPORTEMENT DES GNT

En ce qui concerne l'approche « matériaux », l'étude menée à l'INSA de Strasbourg sur le comportement

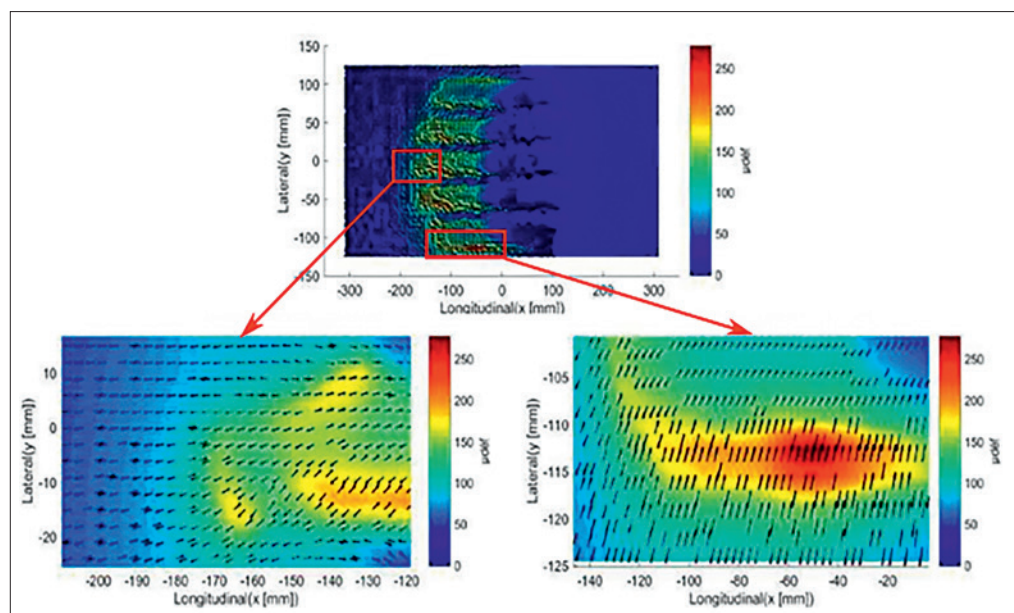
élastoplastique d'une GNT à différents teneurs en eau ouvre la voie à une meilleure prise en compte du facteur « humidité » dans les structures souples. L'expérimentation grâce notamment à l'essai triaxial à chargements répétés (TCR) confirme le modèle de dépendance de la déformation permanente en fonction de la teneur en eau.

#### COMPORTEMENT AU GEL/DÉGEL DES ENROBÉS

Différentes observations de terrain mettent en évidence les dégradations majeures de certains enrobés soumis à l'eau et aux cycles de gel-dégel pendant les périodes hivernales. Ces observations ont été documentées par l'administration sur le réseau routier national et résumées dans une note Idrrim proposant des préconisations sur la formulation et la mise en œuvre<sup>7</sup>.

La thèse de Duc Thang Tran, soutenue à l'ENTPE en 2020, a mis en évidence l'influence de la saturation en eau des enrobés lors des cycles de gel/dégel sur le module complexe, la fatigue et l'essai de retrait empêché<sup>8</sup>.

**-Figure 7-**  
Directions principales d'extension en surface (z = 0) pour une roue en virage (condition de roue motrice en virage  $F_x = 15$  kN ;  $F_y = 5$  kN).



## PROJET MOVEDVDC

L'évaluation de la durée de vie des chaussées repose également sur la connaissance des performances mécaniques résiduelles des matériaux bitumineux des couches d'assise et leur évolution dans le temps. Ce sujet a été traité dans le cadre du projet moveDVDC (Modélisation du vieillissement et de l'endommagement pour l'évaluation de la durée de vie des chaussées), projet connexe au projet national DVDC et soutenu par l'ANR.

Ses objectifs étaient de :

- proposer une démarche d'évaluation du vieillissement et de l'endommagement des matériaux prélevés sur site fondée sur la caractérisation mécanique des enrobés et sur la caractérisation mécanique et physico-chimique des liants extraits ;
- définir des indicateurs de vieillissement utilisables de manière pratique pour évaluer la durée de vie résiduelle des matériaux ;
- proposer des modèles permettant de prédire le comportement des matériaux anciens (module, résistance en fatigue) applicables au calcul de la durée de vie des chaussées.

L'approche adoptée dans moveDVDC pour étudier l'état de vieillissement des matériaux bitumineux (figures 8) a consisté à associer :

- des essais sur des matériaux prélevés sur des chaussées anciennes (choix de quatre sites de chaussées, âgées d'environ 20 ans, présentant un endommagement modéré) ;
- des essais sur des liants et enrobés vieillis artificiellement en laboratoire (avec plusieurs niveaux de vieillissement).

Les enrobés et les liants extraits ont fait l'objet d'un programme d'essais très complet :

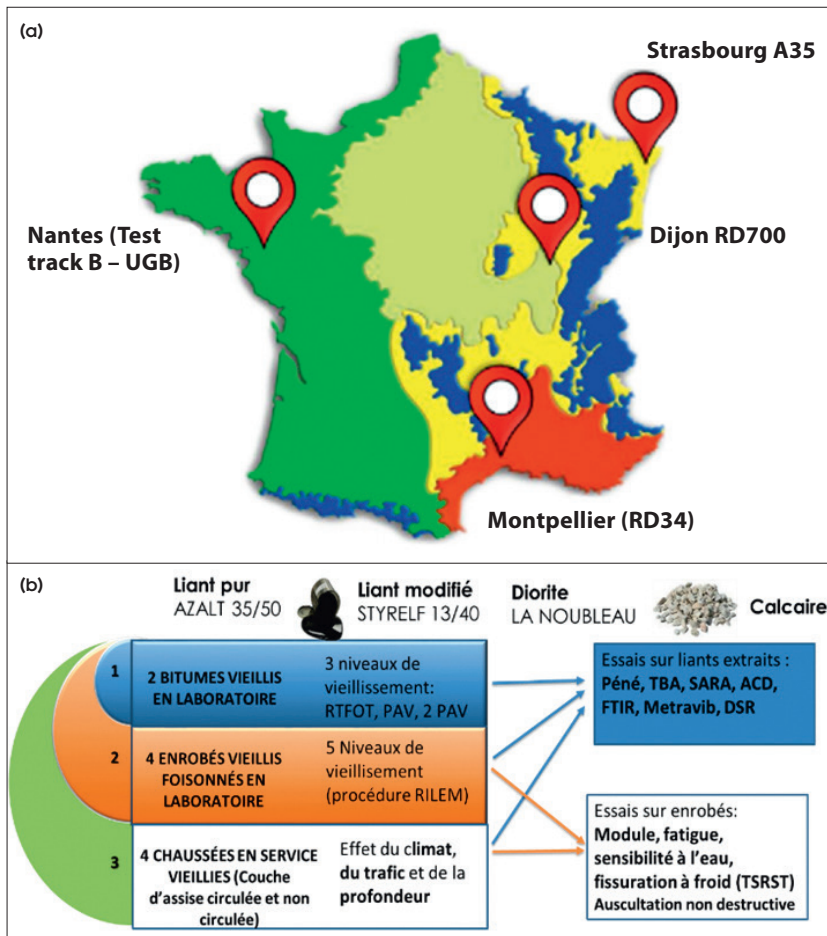
- Les enrobés ont été caractérisés par des essais mécaniques : essais de module complexe, de fatigue, de fissuration à froid et de sensibilité à l'eau.
- Les liants ont été caractérisés par des essais physico-chimiques (spectroscopie infrarouge, fractions SARA, distillation simulée) et des essais rhéologiques (module complexe).

À partir de ces essais, des lois d'évolution des propriétés physico-chimiques et mécaniques en fonction du niveau de vieillissement ont été établies. Des indicateurs de vieillissement des liants ont également été proposés. Ainsi, l'indicateur fondé sur le comportement rhéologique des liants pour définir une distribution de masse moléculaire apparente du liant (*Molecular Agglomeration Index*, ou MAI) contribue à mieux évaluer le risque de fissuration du liant.

Des méthodes d'essai originales, associant essais mécaniques (fatigue, fissuration à froid) et mesures d'émissions acoustiques ont également été proposées pour mieux évaluer l'état d'endommagement des enrobés au cours des essais.

## -Figures 8-

Sites de prélèvement des matériaux (a) et programme expérimental (b).



Un modèle de comportement original a été développé pour les enrobés bitumineux : il prend en compte le comportement viscoélastique, l'endommagement en fatigue en tenant compte des effets biaisant (auto-échauffement, non linéarité, thixotropie) et les effets du vieillissement.

Les principaux résultats du projet moveDVDC sont accessibles sur le site internet de DVDC et feront l'objet de publications séparées. On peut toutefois indiquer qu'il a atteint ses objectifs en termes d'études expérimentales :

- Il a permis de définir une méthodologie de vieillissement des matériaux ainsi que des essais de caractérisation des matériaux vieillis à la fois en laboratoire et sur site.
- Il a notamment montré l'intérêt de l'utilisation de la courbe maîtresse de l'angle de phase, et de la  $\delta$ -méthode pour analyser les liants vieillis.
- Pour l'analyse des enrobés anciens, la pertinence des essais de retrait empêché et des mesures par émissions acoustiques couplées aux essais de fatigue a été mise en évidence.

Ces méthodes d'essai offrent clairement des perspectives intéressantes pour la caractérisation des enrobés et liants vieillis, mais aussi des enrobés recyclés, qui incorporent ces matériaux vieillis. Par exemple, l'intégration des essais de fissuration à



## Questions à Bruno Espinasse et François Brandely

*Service Chaussées, dépendances et environnement, conseil départemental du Puy-de-Dôme*

À gauche, B. Espinasse ; à droite, F. Brandely



### Quelle a été la nature de votre participation au projet national DVDC ?

Nous avons contribué aux travaux du groupe Retour d'expérience, en participant à l'élaboration, au dépouillement et à l'analyse des questionnaires adressés aux gestionnaires de réseaux (départements et métropoles).

Nous avons également pris part au travail sur l'expérimentation de l'appareil servant à mesurer le collage des interfaces in situ, en proposant un essai sur une chaussée déjà suivie dans le cadre du projet Mure.

### Quelles étaient vos attentes par rapport au projet ? Ont-elles été en partie satisfaites ?

Notre premier objectif était de confronter notre politique d'entretien des chaussées à celle des autres gestionnaires. Le retour d'expérience nous a offert l'opportunité de nous comparer aux autres collectivités en termes de budget et de type de réseau.

Notre second objectif concernait la recherche de solutions auprès des entreprises et des référents dans le domaine de la route (université Gustave Eiffel, Cermea, Irex...) afin d'optimiser la durée de vie de nos chaussées

tout en nous orientant vers un entretien routier plus éco-responsable.

### Dans votre travail au quotidien, avez-vous pu utiliser certains résultats de DVDC ?

Les données chiffrées des autres gestionnaires nous ont servi d'argumentaire pour convaincre nos élus de la nécessité de maintenir les crédits pour optimiser les taux de renouvellement.

Nous avons également pu constater que notre politique d'entretien dans le domaine des techniques

à l'émulsion était plutôt en avance par rapport à la moyenne nationale. Cela nous offre l'opportunité de communiquer auprès des élus et des usagers à propos des gains environnementaux (ressources naturelles, émissions de gaz à effet de serre...) déjà effectués depuis plusieurs années et de montrer ainsi que nos choix s'efforcent d'être vertueux.

Le logiciel SEVE, redécouvert dans le cadre de DVDC, fait aujourd'hui partie intégrante de nos appels d'offres.

### Quels seraient, selon vous, les travaux prioritaires à poursuivre ?

Il semble important de continuer les travaux sur les techniques à l'émulsion et le retraitement des matériaux en place afin de promouvoir ces techniques qui génèrent des gains importants en termes de développement durable.

froid dans la méthode de formulation des enrobés paraît pertinente. Une autre perspective semble être l'amélioration des critères de durée de vie en fatigue des enrobés.

Le projet a également contribué à mieux comprendre l'évolution des caractéristiques des liants et des enrobés des couches d'assise avec le vieillissement, en particulier grâce aux matériaux vieillis en laboratoire, à différents niveaux.

Pour les liants, une analyse détaillée a abouti à la proposition d'indicateurs pertinents pour caractériser le vieillissement, comme le MAI et le critère de Glover-Rowe, qui n'était pas utilisé en France.

La limite de ces études est que, du fait de la lourdeur du programme expérimental, elles n'ont pu être réalisées que sur un nombre limité de matériaux (deux liants et quatre enrobés vieillis en laboratoire, quatre sites de chaussées). Une méthodologie pertinente étant disponible, il serait intéressant d'étendre ces

études à un plus grand nombre de matériaux (d'assise, mais aussi de couches de roulement) afin de constituer une base de données, d'établir un retour d'expérience sur le vieillissement de différents matériaux sur les chaussées françaises et de définir des seuils de performances pertinents pour évaluer l'état et la durée de vie résiduelle des matériaux anciens.

## DURABILITÉ DES CHAUSSÉES

Un groupe de travail du projet national DVDC s'est intéressé plus spécifiquement aux couches de roulement en enrobés avec et sans agrégats d'enrobés recyclés (AER). La démarche a fait appel au diagnostic de terrain de type imagerie laser et au désenrobage séquentiel pour évaluer la qualité de mélange du bitume d'origine et du bitume d'apport (figures 9).

—Figures 9—  
Essai de désenrobage séquentiel.

**Principe de l'essai (1/2)**

Pulvérisation d'une petite quantité de solvant pendant un temps donné. L'opération est répétée n fois jusqu'à dissolution complète du film de liant

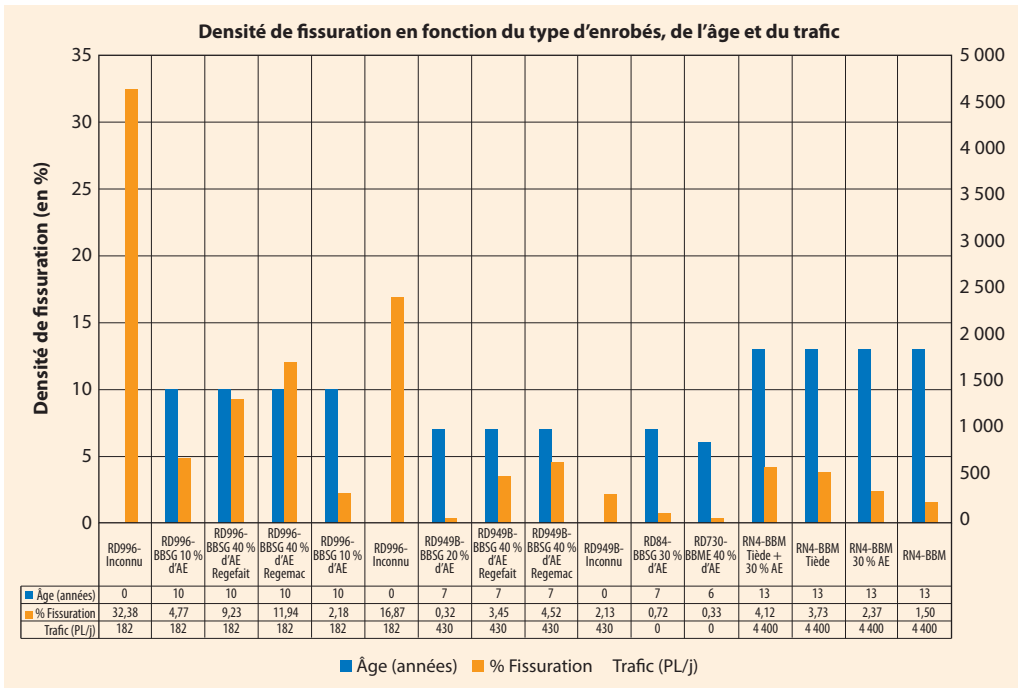
**Principe de l'essai (2/2)**

Essais infrarouge

Détermination ICO pour chaque liant

Liant d'apport ICO faible

Liant de l'AE ICO fort



**-Figure 10-**  
Densités de fissuration observées sur les sections du projet.

Ces travaux complètent ceux issus du projet national Mure (Multirecyclage des enrobés)<sup>9</sup> et soulignent la bonne compatibilité entre le bitume des AER et le bitume d'apport. Ils montrent aussi que la présence de fissures reste très faible sur les planches analysées (figure 10).

Les principes connus des gestionnaires de réseau et des entreprises routières pour différer la fissuration par le haut sont connus : ne pas avoir un bitume trop dur issu du mélange et ne pas viser une température de fabrication excessivement haute. ■

## RÉFÉRENCES

1. L. Périssé, F. Sagnier, S. Wasner, « Nouvelles solutions de gestion d'un patrimoine routier : les apports du projet DVDC », RGRA n° 998, mai-juin 2023.
2. Dossier « Premier bilan du projet national DVDC », RGRA n° 977, novembre-décembre 2020.
3. NF P 98-086, « Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves », mai 2019.
4. O. Chupin, J.-M. Piau, « Modélisation des chaussées fissurées par RDM enrichie et méthode d'éléments finis mixtes », RGRA n° 977, novembre-décembre 2020.
5. M.-L. Nguyen, P. Hornych, X. Quy Le, C. Chazallon, M. Sahli, S. Mouhoub, D. Doligez, É. Godard, « Projet Soldugri - dimensionnement en fatigue de chaussées bitumineuses renforcées », RGRA n° 983, juillet-août 2021.
6. P. Reynaud, B. Picoux, E. Manyo, A. Millien, J. Dopeux, C. Petit, N. Nélias, T. Chaise, « Étude de l'agressivité du trafic sur les couches de surface », RGRA n° 977, novembre-décembre 2020.
7. Idrim, « Choix et mise en œuvre des couches de surface dans les zones soumises à des conditions climatiques hivernales rigoureuses », Note d'information n° 43, décembre 2020.
8. D. Thang Tran, C. Sauzéat, H. Di Benedetto, « Endommagement des enrobés bitumineux à l'eau et au gel - Étude bibliographique », RGRA n° 963, mai 2019.
9. « Bilan des projets Mure et ImprovMure », RGRA n° 968, novembre 2019.

## À retenir

- La collaboration d'un très grand nombre d'acteurs de la construction routière dans le cadre du projet national DVDC a permis de mobiliser une multitude d'expertises et de ressources pour atteindre l'objectif ambitieux de prolonger la durée de vie des chaussées grâce à une meilleure connaissance de leur état et de leurs lois de vieillissement.
- Les impacts positifs sur la profession sont nombreux, tant par la qualité des études menées, parfois très novatrices, que par les résultats concrets obtenus.
- Les échanges ont renforcé les liens entre les différents acteurs et favorisé l'appropriation d'une vision commune pour l'avenir.
- Certaines actions seront poursuivies dans le cadre de l'Idrirm afin de produire des référentiels techniques opérationnels.