

DÉMYSTIFIER L'ESSAI DE RECOUVRANCE ÉLASTIQUE DU FLUAGE INDUIT PAR CONTRAINTES MULTIPLES (MULTIPLE STRESS CREEP RECOVERY ou MSCR)

Tony Kucharek

Il y a plus d'une centaine d'années, lorsque le bitume commençait à être utilisé comme liant dans les pavages bitumineux, le tout premier essai de contrôle de la qualité fut le « test de mastication ». Un vérificateur expérimenté mâchait pendant quelques minutes un morceau de bitume. Il évaluait la rigidité et la consistance du bitume d'après son expertise.

Du point de vue rhéologique, on peut assimiler le test de mastication à un essai de fluage et reprise élastique effectué à répétition dans des conditions isothermes à la température du corps humain. Il nous aura fallu des décennies et une profusion de spécifications changeantes pour que l'élaboration du nouvel essai de recouvrance élastique du fluage induit par contraintes multiples (*Multiple Stress Creep Recovery* ou MSCR) ferme la boucle : nous en sommes revenus au test de mastication, à l'exception près qu'on l'effectue aujourd'hui à l'aide d'un rhéomètre à cisaillement dynamique (DSR), qui par bonheur ne met pas en péril la santé et la sécurité du vérificateur.

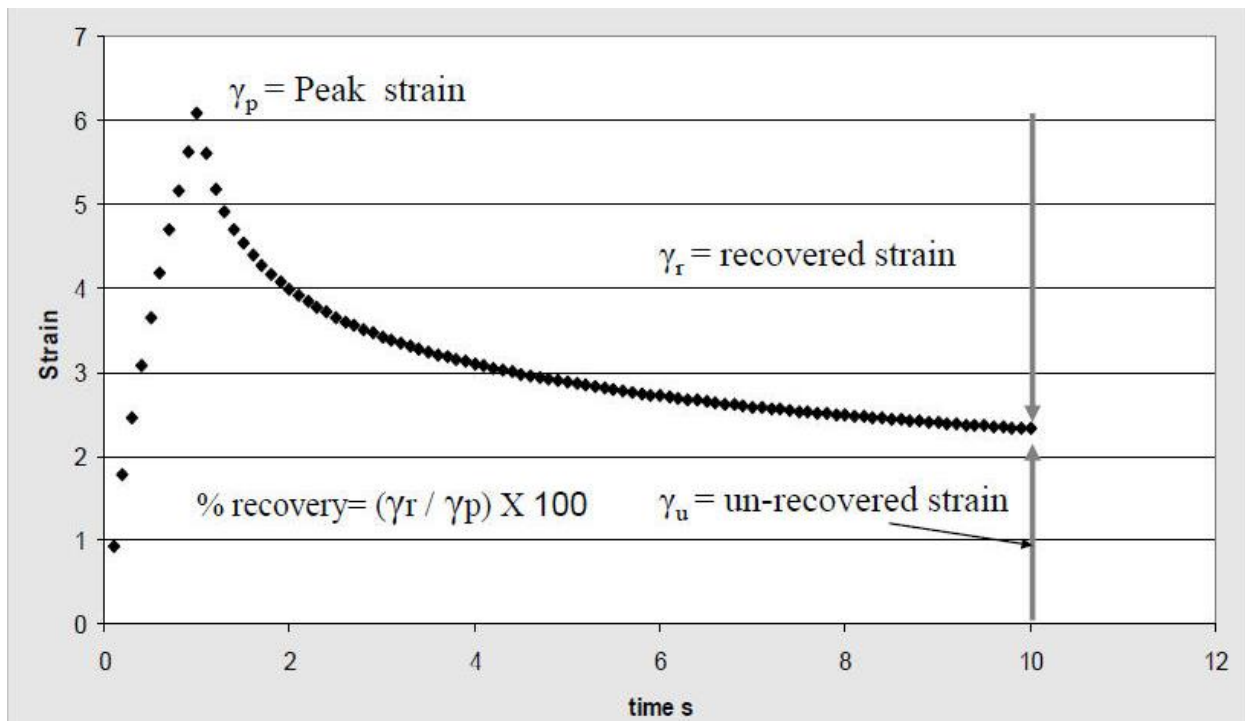
Au début des années 1990, l'élaboration et l'adoption de la spécification de classe de performance (PG) faisaient partie du programme stratégique de recherche sur les routes (*Strategic Highway Research Program* (SHRP)) et représentaient sans aucun doute un progrès majeur pour les spécifications du bitume. La spécification a été mise au point après la tenue de vastes recherches sur le comportement de tous les types et sources majeures de bitume disponibles en Amérique du Nord. De plus, elle a été conçue pour être aussi universelle et insensible à toute modification possible. Inutile de dire que les techniques traditionnelles de modification employées jusqu'à ce jour étaient principalement le soufflage d'air et le fluxage. La modification élastomérique des liants d'asphalte était toutefois en train de s'imposer au cours de la même période. Les procédés de modification des types SB et SBS ont été adoptés rapidement par les administrations et les fournisseurs de bitume. On avait besoin de liants de qualité supérieure en raison de l'augmentation continue des volumes de la circulation.

On s'est vite rendu compte que la spécification de PG nouvellement adoptée n'était pas conçue pour saisir la performance spécifique fournie par les polymères élastomères. Par conséquent, les administrations ont adopté des essais supplémentaires visant précisément à quantifier ou à spécifier de tels polymères. Des essais tels que la recouvrance d'élasticité, la ductilité et la ténacité (constance), les angles de phase maximaux à l'aide d'un DSR, etc. ont rapidement été adoptés en plus des nouvelles exigences relatives au PG. L'époque des spécifications dites « PG Plus » venait de commencer. Le Québec, un exemple d'administration ayant reconnu les avantages de la modification élastomérique, a adopté un essai de recouvrance d'élasticité et a rendu obligatoires des niveaux d'élasticité minimaux pour les bitumes de qualité supérieure.

NCHRP 9-10 était un projet de recherche commandé au milieu des années 1990 servant à poursuivre l'étude des aspects qui n'avaient pas été traités lors du SHRP. Le projet avait pour objectif de comprendre le comportement de modification des polymères dans les bitumes à l'aide d'essais portant sur la performance et éventuellement d'établir des spécifications. L'un des essais élaborés dans le cadre de ce projet est l'essai de fluage répété (*Repeated Creep Test*), conçu pour mieux saisir la résistance à l'orniérage procurée par les Bitumes modifiés aux polymères (*Polymer Modified Asphalts* (PMA)). Cet essai est l'un des précurseurs du présent essai de déformation et recouvrance répétées (MSCR), actuellement normalisé dans le protocole AASHTO T350.

L'essai MSCR est un essai au DSR dans lequel une contrainte constante (fluage) est appliquée pendant une seconde à l'échantillon de bitume, qu'on laisse ensuite immédiatement se détendre pendant 9 secondes. Ce profil d'imposition de contrainte est répété de nombreuses fois, ainsi qu'à deux niveaux de contrainte différents : un faible (0,1 kPa) et un élevé (3,2 kPa). L'appareil sert à mesurer la déformation de l'échantillon pendant la période d'essai entière, tant pendant la période d'imposition de contrainte que celles de détente et de recouvrance élastique, et il calcule plusieurs paramètres pour chacun des cycles : le pic de contrainte, la contrainte recouvrée et la contrainte non recouvrée. La Figure 1 présente un exemple de cycle de fluage et de recouvrance élastique, ainsi que les mesures de contrainte susmentionnées. Voici les paramètres d'intérêt calculés d'après ces valeurs :

- La compliance du fluage non recouvrable J_{nr} , à 0,1 et à 3,2 kPa
- Le pourcentage de recouvrance élastique R , à 0,1 et à 3,2 kPa



Strain = Contrainte

time s = Temps en seconde

Peak strain = Pic de contrainte

Recovered strain = Contrainte recouvrée

Un-recovered strain = Contrainte non recouvrée

% recovery = % de recouvrance élastique



McASPHALT INDUSTRIES LIMITED

8800 Sheppard Avenue East T 416.281.8181 TF 1.800.268.4238
 Toronto, ON M1B 5R4 F 416.281.8842 E info@mcasphalt.com

mcasphalt.com
 ISO 9001/14001

Jnr est le paramètre qui correspond le mieux à la résistance à l'orniérage en chantier, puisqu'il quantifie seulement la portion non recouverte de la déformation. Il s'agit d'une compliance (l'inverse d'un module), ainsi, une valeur inférieure correspond à un matériau plus rigide. On mesure aussi ce paramètre pour des contraintes faible et élevée ; on choisit intentionnellement le niveau de contrainte le plus élevé de manière à ce que le matériau ne se trouve plus dans la partie viscoélastique linéaire de sa courbe de réponse. C'est une première en matière de spécifications relatives au bitume, mais voici une direction correcte à prendre : pour tenter de prévoir la rupture (l'échec), il faut étudier le comportement du matériau dans un environnement l'amenant dans une partie non linéaire de sa courbe de réponse, parce que c'est là où l'échec se produit.

Le paramètre de recouvrance R est exprimé en % et il constitue une mesure de la réponse élastique du bitume. Il comporte plusieurs avantages par rapport à un essai classique de recouvrance d'élasticité en utilisant le ductilomètre. Premièrement, l'essai est mené à une température ambiante élevée, ce qui est la bonne façon de quantifier la réponse élastique d'un polymère. L'orniérage des chaussées ne se produit pas à 10°C ni à 25°C, mais plutôt au beau milieu d'une chaude journée d'été. Deuxièmement, les chaussées ornièrent aussi lorsqu'ils sont soumis à une circulation intense, c'est pourquoi on mesure également la Recouvrance en condition de contrainte élevée (3,2 kPa). Voilà un autre gros avantage par rapport à l'essai classique de RE : ce dernier mesure la réponse élastique, mais pas sous contrainte. Selon le type de modification et de polymère, certains bitumes peuvent être élastiques lorsque soumis à de faibles contraintes, mais ils peuvent perdre leur élasticité lorsque soumis à des contraintes élevées. L'essai de recouvrance d'élasticité, MSCR est en mesure de détecter des réseaux de polymère faibles et sensibles au cisaillement, contrairement à l'essai classique d'ER. Troisièmement, la recouvrance minimale pour qu'un bitume soit considéré élastique est ajustée en fonction de sa rigidité (ou compliance), selon la relation suivante : $R \geq 29.371 \cdot J_{nr}^{-0.263}$. Cette approche permet d'établir une quantification claire de la contribution du réseau de polymère élastique à l'élasticité du bitume modifié aux polymères (PMA), indépendamment de la rigidité et de la composante élastique de la matrice de bitume.

La sensibilité au cisaillement de certains PMA était aussi la raison pour laquelle un autre paramètre a été proposé avec l'introduction de l'essai MSCR : une chute maximale acceptable de Jnr de 75 % entre les niveaux de contrainte le plus faible et le plus élevé mis à l'essai. Bien que cette démarche théorique soit judicieuse, l'exigence fait actuellement l'objet d'une étude parce qu'elle peut produire des résultats artificiellement élevés pour les liants présentant des valeurs de Jnr très faibles.

L'essai MSCR a été élaboré et validé en chantier depuis une dizaine d'années. Il en est présentement à diverses étapes de mise en œuvre dans plusieurs régions du Canada et des États-Unis. À l'heure actuelle, cet essai est adopté de deux façons différentes :

- À titre d'essai « supplémentaire » en sus d'une spécification PG
- Comme partie intégrante de la Spécification MSCR nouvellement élaborée, normalisée sous la désignation AASHTO M332

Plusieurs provinces Canadienne et États américains ont reconnu la valeur et la simplicité de l'essai MSCR, mais ont déterminé qu'ils ne sont pas encore prêts pour la mise en œuvre de la spécification AASHTO M332. Ils emploient plutôt la Recouvrance MSCR comme un meilleur moyen de préciser la modification élastomérique des asphaltes pour certaines classes. L'Ontario et l'Alberta en sont des exemples.



McASPHALT INDUSTRIES LIMITED

8800 Sheppard Avenue East T 416.281.8181 TF 1.800.268.4238
Toronto, ON M1B 5R4 F 416.281.8842 E info@mcasphalt.com

mcasphalt.com
ISO 9001/14001

En revanche, d'autres provinces Canadienne et États américains passent à l'adoption complète de la spécification AASHTO M332. Le Québec a annoncé une transition proposée vers la spécification susmentionnée, ce qui en fera le chef de file au Canada si la transition se réalise comme prévu. La majorité des États américains ont soit adopté la spécification MSCR ou sont en train de le faire.

Mais qu'y a-t-il de différent dans la spécification AASHTO M332? Le cadre général de cette spécification est semblable à celui de la M320 (spécification PG classique). La différence la plus marquée est dans la façon dont on classe l'extrémité supérieure. Le classe PG était conçu pour les bitumes purs qui présentent en général un comportement thermorhéologique simple, ce qui signifie entre autres que le principe de superposition temps-température est valide. En conséquence, **la majoration du classement était commodément exprimée en majorant le PG à température élevée**, pour tenir compte de la circulation intense ou très intense. Par exemple : un PG 58-28 est la classe de performance d'un climat de base pour le sud du Québec ou le sud de l'Ontario. Il devient un PG 64-28 pour les routes à circulation intense ou un PG 70-28 pour les artères à circulation très intense. Le climat ne justifie jamais un PG 70 au Québec, mais le trafic lourd le fait. Par conséquent, les bitumes plus rigides sont exprimés au moyen de PG à température plus élevée.

Les bitumes modifiés aux polymères sont habituellement des matériaux plus complexes et beaucoup d'entre eux ne sont pas simples sur le plan thermorhéologique. **La spécification MSCR classe les liants sans employer la majoration du classement en changeant le PG à température élevée.** Cela se fait en mettant toujours le liant à l'épreuve à la température climatique élevée et en ayant d'autres exigences en matière de rigidité pour différents niveaux de trafic. Les différentes classes sont exprimées au moyen de lettres placées après le PG à température élevée :

<u>Désignation de la circulation</u>	<u>Exigence de Jnr</u>	<u>Exemple de classe MSCR</u>	<u>Classe de PG approximative</u>
« S » Circulation standard	Jnr < 4,5	PG 58S-28	PG 58-28
« H » Circulation intense	Jnr < 2	PG 58H-28	PG 64-28
« V » Circulation très intense	Jnr < 1	PG 58V-28	PG 64-28 (solide) PG 70-28
« E » Circulation extrêmement intense	Jnr < 0,5	PG 58E-28	PG 70-28 (solide) PG 76-28



McASPHALT INDUSTRIES LIMITED

8800 Sheppard Avenue East T 416.281.8181 TF 1.800.268.4238
 Toronto, ON M1B 5R4 F 416.281.8842 E info@mcasphalt.com

mcasphalt.com
 ISO 9001/14001

En général, la recouvrance à titre d'exigence faisant partie d'une spécification n'est pas obligatoire, à moins que l'on désire un comportement élastique. Dans ce cas, il faut préciser la recouvrance seulement pour les classes H, V et E. Les classes de bitume S sont presque toujours des classes non modifiées.

L'exigence selon laquelle l'essai MSCR doit toujours être effectué au niveau de température ambiante peut être source de confusions pendant les périodes de transition, particulièrement pour les spécifications MSCR de type PG +. Il arrive souvent que le MSCR soit erronément mis à l'épreuve à la même température que pour l'exigence RTFO DSR. Cela est incorrect pour une classe PG majorée. Par exemple, même lorsque la classe PG est 70-28, si le projet de pavage est situé dans une zone 58, le MSCR doit être mis à l'essai à 58 et classé en fonction de la lettre de désignation de la circulation. Les protocoles modernes d'essai au DSR comportent des modèles permettant la mise à l'épreuve automatique de deux températures sans nécessiter un deuxième échantillon : le RTFO DSR est mis à l'essai au PG à température élevée suivi par un essai MSCR à température ambiante.

Bien que l'essai MSCR ait été élaboré spécialement pour être un meilleur essai d'orniérage par rapport à l'ancien paramètre $G^*/\sin(\delta)$, il y a des conséquences indirectes sur d'autres éléments de la performance de la chaussée. On pourrait soutenir qu'il n'a aucune incidence sur les propriétés du bitume à basse température, parce qu'il s'agit d'un essai à température élevée. Cela dit, si le MSCR comporte des spécifications convenables, il peut confirmer la présence d'un réseau de polymère solide et robuste dans le liant. Ce réseau de polymère va directement améliorer la résistance thermique du bitume à faible température, améliorant ainsi (abaissant) la température critique de fissuration T_{cr} sans aucun changement des propriétés de rigidité et de détente du bitume pur.

Le MTMDET (MTQ) et l'industrie ont mené une série d'essais préparatoires et de corrélation en vue de l'adoption proposée de la spécification MSCR (AASHTO M332) au Québec en 2018. Ce travail a pour but de comprendre en profondeur l'impact que la nouvelle spécification aura sur les propriétés des bitumes et de faciliter la transition vers les classes de bitume, tant pour le MTMDET que les fournisseurs. Les progrès actuels des travaux réalisés jusqu'à présent sont encourageants. Cela se traduira indubitablement par une spécification de performance très efficace et assurera l'obtention de bitumes de haute qualité dans un avenir rapproché.

RÉFÉRENCES

1. Federal Highway Administration (FHWA), "The Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Procedure", FHWA-HIF-11-038, Washington DC., 2011
2. Asphalt Institute, "Implementation of the Multiple Stress Creep Recovery Test and Specification", Lexington KY, 2010



McASPHALT INDUSTRIES LIMITED

8800 Sheppard Avenue East T 416.281.8181 TF 1.800.268.4238
Toronto, ON M1B 5R4 F 416.281.8842 E info@mcasphalt.com

mcasphalt.com
ISO 9001/14001