

Mesure de l'adhérence en période hivernale

Définition

L'adhérence est une caractéristique indispensable de la surface de roulement qui doit permettre au conducteur de contrôler en tout temps et en toute sécurité son véhicule. En période hivernale, une combinaison complexe des contaminants provenant des précipitations atmosphériques (eau, neige, glace, frimas, verglas, abrasif, etc.) influe sur la mesure de l'adhérence dont la valeur pourrait diminuer jusqu'à 10 fois sa valeur estivale dans les conditions hivernales extrêmes sur le réseau du MTQ. Le rapport de la résultante horizontale des forces résistant au frottement pneu-chaussée sur la charge appliquée verticalement à la roue d'essai est égal au coefficient de frottement hivernal dont la valeur dépend de l'épaisseur, de la configuration des couches des contaminants, de même que des propriétés physico-mécaniques de ces matériaux et de leur changement d'état selon la température.

L'interposition de ces contaminants transforme la surface de contact rigide (estivale) à un contact souple (hivernal). La souplesse du caoutchouc de la semelle du pneu d'hiver à basse température améliore davantage ce contact. Les sculptures prononcées et leurs microrainures de la bande de roulement peuvent allouer une sorte de macrotexture et de microtexture temporaires antidérapantes sur l'empreinte pneus-surface de roulement tout en favorisant l'évacuation d'eau.

Ainsi, les déformations viscoélastiques (phénomène d'indentation et d'hystérésis) du pneu et les forces de résistance au cisaillement des contaminants dominant et remplacent le phénomène d'adhésion conventionnelle (liaison de type Van der Waals), anéantie, spécifique de contact pneumatique-chaussée (estivale).

Les principes de mesure de l'adhérence hivernale

La mobilisation des forces de résistance au frottement pneu-chaussée en présence des matériaux contaminants permet de

mesurer l'adhérence hivernale. Cette mobilisation est effectuée soit par le freinage de la roue d'essai, soit par l'entraînement de cette dernière sur la surface de roulement (cas des appareils avec l'angle d'envirage) afin de générer le % de glissement visé. Elle peut être aussi mesurée par la décélération provoquée par le freinage avec roues bloquées d'un véhicule équipé d'un décéléromètre.

L'hétérogénéité de surface attribuable aux divers contaminants et leurs changements d'état selon la température rendent difficile la modélisation et la mesure d'adhérence représentative. Les sculptures de la semelle et la souplesse de son caoutchouc à basse température de même que la charge verticale, la pression de gonflage et de contact de la roue d'essai influent sur la mesure de l'adhérence. Également, le % et la vitesse de glissement de même que l'intensité de l'énergie de freinage peuvent modifier la nature et la qualité des résultats obtenus. L'appareil ROAR, en faisant varier le glissement ($G = 0$ à 100%) pour chaque cycle de mesure pouvant durer de 1 à 99 secondes, peut déterminer l'adhérence longitudinale potentielle (μ_p). L'appareil SCRIM, avec l'angle d'envirage de 20° (un glissement fixe de $G = 34\%$), mesure le CFT (coefficient de frottement transversal) de façon continue pour des longueurs de 5, 10 et 20 m, selon le choix (figures 1 et 2).

Les figures 3 et 4 démontrent les relations expérimentales non linéaires, établies à l'aide des aéronefs instrumentés, entre les charges verticales (F_v), les forces de résistance horizontales (F_t) et le coefficient de frottement ($\mu = F_t / F_v$) mesuré sur les chaussées aéronautiques, recouvert d'une neige compactée et sur une surface glacée. Ces relations difficiles à réaliser sur les chaussées routières aident la compréhension de comportement physico-mécanique complexe des contaminants lors de la mesure de l'adhérence en hiver.

Figure 1 : Les variations du CFT et l'angle d'enivrage de différents appareils

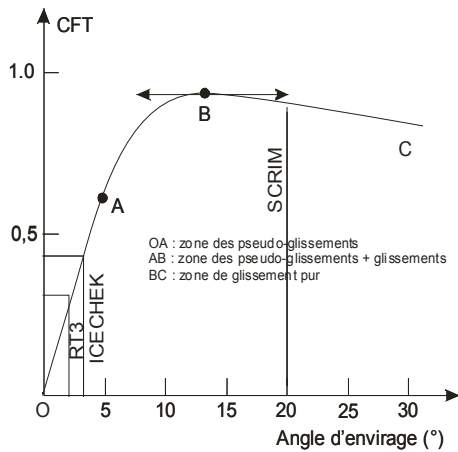
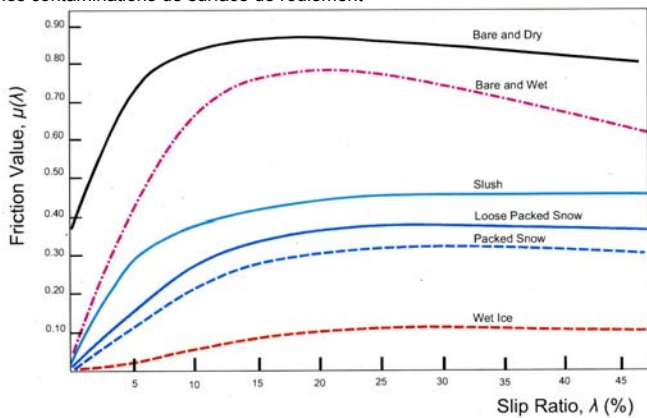


Figure 2 : Les variations du coefficient de frottement μ et % de glissement selon les contaminations de surface de roulement



En septembre 2007, le ministère des Transports, conformément à son programme de viabilité hivernale, a mandaté le Service des chaussées pour faire une évaluation technique comparative de quatre appareils de mesure de l'adhérence hivernale choisis sur le marché mondial. Nous y avons ajouté un cinquième appareil en usage en aviation civile (Mk 3). Certains de ces appareils ont déjà été expérimentés par le MTQ dans le cadre de projets pilotes ces dernières années : le IceChek en 2005 et le TWO en 2006. Ce dernier a fait l'objet d'une expérience à la Direction de l'Estrie. À la suite de notre participation de quelques jours à ce projet, nous avons produit un rapport sur ce dernier appareil, publié le 25 avril 2007.

Figure 3 : Coefficient de frottement μ en fonction de la charge sur la roue (ITTV)

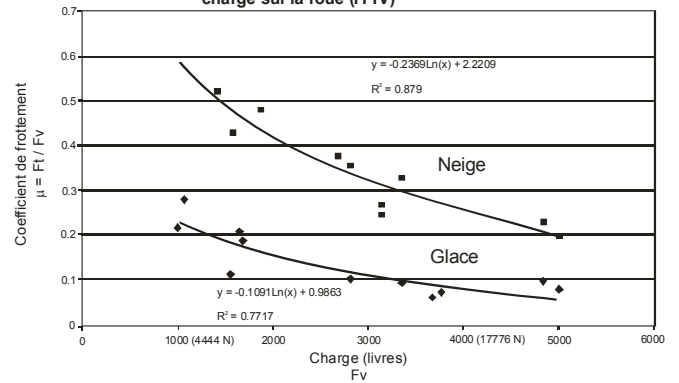
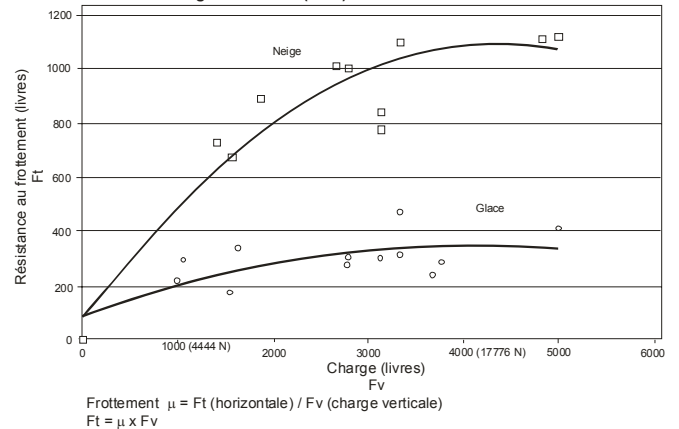


Figure 4 : Force de résistance au frottement (cisaillement) en fonction de la charge sur la roue (ITTV)



Principales caractéristiques des appareils de mesure étudiés

1. L'appareil **TWO** (Traction Watcher One), de l'entreprise PON, mesure le coefficient de friction longitudinal μ , en mobilisant les forces de résistance F_t grâce à un $G = 17\%$, imposé à la roue d'essai par une deuxième roue entraînée par le véhicule tracteur.
2. L'appareil **WIFT 01** (Winter Friction Trailer), de la compagnie Nordaxe, est une remorque équipée d'un essieu à deux roues d'essais avec $G = 85\%$. L'appareil mesure par intermittence la force de résistance au freinage (F_t) sur chacune des deux pistes de roue. Le rapport de ces forces sur la force de résistance au freinage (mesurée préalablement sur une surface étalon sèche à forte adhérence) indique le coefficient de friction longitudinal μ .

3. L'appareil **Mk 3** de la compagnie TES Instruments mesure la décélération **a** en fonction de **g** (accélérations de la pesanteur en m/s^2) du véhicule porteur. Le rapport de cette décélération du véhicule porteur aux roues bloquées sur le **g** est égal au coefficient de friction de la surface testée ($\mu = a/g$).
4. L'appareil **IceChek** de la compagnie du même nom mesure le **μ** , une force de résistance au frottement plutôt transversal, à l'aide d'une roue ayant un angle d'envirage de $1,75$ à $2,50^\circ$ ($G < 5\%$).
5. L'appareil **RT3 (Real Tim Traction Tool)**, de la compagnie Halliday, à l'aide d'une roue ayant un angle d'envirage de $1,5^\circ$ ($G < 3\%$), mesure également une force de résistance au frottement transversal **HFN (Halliday Friction Number)**.

Compte tenu de leur saison où ils sont utilisés, tous ces appareils sont munis de pneus rainurés avec sculptures.

Performance comparative des appareils de mesure

À l'hiver 2008, plus de 1 500 km de voie du réseau du MTQ et de pistes expérimentales du centre de PMG Technologie à Blainville ont été auscultées avec les cinq appareils énumérés ci-dessus. Les résultats obtenus ont été validés par des appareils de référence tels que l'appareil SCRIM, le pendule SRT, l'appareil RFTM et le décéléromètre Mk3.

Selon ces résultats, les appareils expérimentés dans les conditions suivantes – ligne droite, surfaces dégagées ou avec un recouvrement homogène et un uni (IRI) confortable – ont affiché des valeurs assez similaires.

Cependant, on observe des différences de performance perceptible au fur et à mesure que les conditions climatiques et géométriques contraignantes s'ajoutent aux caractéristiques de surface, modifiées en raison des contaminants et ayant des états de surface hétérogènes.

Nos résultats ont prouvé que la précision des appareils aux faibles angles ($< 5^\circ$) d'envirage (IceChek et RT3, $G < 5\%$) était très réduite par la géométrie curviligne de la trajectoire et

les angles de braquage des roues avant. Les avantages et les désavantages comparatifs détaillés nous ont permis d'évaluer la performance technique potentielle des différents appareils. Selon nos résultats, l'appareil TWO semble le mieux répondre aux besoins du MTQ.

Conclusions et recommandations

L'appareil **TWO** détecte les changements d'état, mesure le coefficient de friction en continu, le temps et la distance (GPS) avec une bonne répétabilité et permet la mise en graphique en temps réel. Son étalonnage est efficace et stable, sa structure est assez robuste et munie d'un système de levage hydraulique. Grâce à un programme convivial, son opération est facile et informatisée avec un potentiel technologique évolutif.

Le traitement et la transmission en temps réel des données aux équipes d'interventions urgentes et aux usagers faciliteraient la planification, l'exécution rationnelle et efficace, économique et écologique des opérations d'entretien d'hiver afin d'améliorer la viabilité hivernale pour minimiser la distance d'arrêt et le risque d'accidents par dérapage.

Certaines administrations européennes utiliseraient le décéléromètre Mk3 en grand nombre pour mesurer l'adhérence d'envergure réseau des chaussées routières. D'autres utiliseraient des éléments mécaniques et informatiques plus simples et économiques, intégrés directement aux véhicules des patrouilleurs, afin d'estimer la friction de surface pour en informer, en temps réel, les équipes d'entretien d'hiver et les usagers du réseau routier.

RESPONSABLE : Aziz Amiri, ing., Dr. Ing. *et al.*
Service des chaussées

DIRECTEUR :



Guy Tremblay, ing.M.Sc.A.