

# Mesure de l'adhérence directe par glissement latéral faible, par rapport à la réflexion de trois faisceaux laser sur la surface

N. Engström & R. Larsson  
Division des éléments mécaniques, Université de Luleå, Suède  
niceng@ltu.se

H. Andrén & L. Fransson  
Division de l'ingénierie des structures, Université de Luleå, Suède  
henand@ltu.se

## RÉSUMÉ

L'adhérence sur route en hiver dépend de nombreux facteurs et différentes techniques sont disponibles pour évaluer cette adhérence. Pour s'assurer que les entrepreneurs ont amélioré l'adhérence selon des niveaux acceptables, les entrepreneurs et les services de maintenance routière ont besoin d'outils pour évaluer l'adhérence actuelle. Les renseignements relatifs à l'adhérence peuvent également être utilisés directement dans les véhicules, au niveau des systèmes comme l'ABS, le système d'antipatinage à l'accélération, etc., s'ils sont disponibles. Pour évaluer une méthode sans contact fondée sur trois faisceaux laser utilisant des longueurs d'ondes différentes, elle fut appliquée à un véhicule équipé d'un dispositif de glissement latéral faible mesurant l'adhérence. La roue du dispositif de glissement latéral est inclinée d'environ 1,5 degré par rapport à l'axe de déplacement. Un capteur situé dans le moyeu mesure les forces agissant sur un pneu hiver classique, ce qui permet de quantifier l'adhérence. Le principal objectif de ce travail est d'observer dans quelle mesure l'adhérence peut être estimée en utilisant un dispositif sans contact et peu coûteux, composé de faisceaux laser associés à une photodiode.

## MOTS CLÉS

ADHÉRENCE / LASER INFRAROUGE / RT3 / RÉFLEXION / VERGLAS / ROAD EYE

## 1. INTRODUCTION

Les services de voirie suédois estiment qu'il est nécessaire de mesurer l'adhérence afin de garantir les conditions nécessaires à une conduite en toute sécurité. L'objectif principal est de réduire le nombre d'accidents conduisant à des dommages corporels ou pire, à des décès. Réduire les coûts de transport comme le temps perdu suite aux ralentissements, les dommages subis par les véhicules, les dommages matériels sur les biens à proximité du système routier, et le temps passé à régler les problèmes engendrés par les accidents font partie des autres objectifs. Le gouvernement suédois accorde maintenant plus d'attention au problème de la pollution générée par l'utilisation de pneus hiver à clous dans les zones fortement peuplées et à grande circulation ; l'étude de Gustafsson et al. [1] indique que les niveaux de fines particules augmentent considérablement avec les pneus hiver à clous. Ce problème de pollution a été abordé au Japon, mais d'autres difficultés apparaissent lorsque l'on interdit les pneus hiver à clous (voir Takagi et al. [2]). La nécessité de mesurer l'adhérence augmentera avec la baisse de l'utilisation des pneus hiver à clous, en raison des nouvelles réglementations suédoises. La mesure de l'adhérence peut s'effectuer grâce à de nombreuses techniques différentes (voir Engström et al. [3]), et différents équipements ont été testés. Les résultats ont indiqué que les équipements utilisant un glissement latéral faible avec des pneus hiver sans clous disposent d'une meilleure résolution d'adhérence que les équipements utilisant un

glissement longitudinal élevé avec un pneu industriel Trelleborg. L'objectif de cet article est d'étudier le lien entre les lasers infrarouges associés à des détecteurs, et les mesures des frictions directes avec les équipements à glissement latéral faible sur glace ancienne et polie. La glace ancienne et polie a été choisie car il s'agit d'un type de surface disponible et présentant des similarités avec les types de surfaces sur route parmi les plus dangereux.

## 2. MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de cet article, nous utilisons deux appareils de mesure de l'adhérence sur route : un RT3, pour mesurer le glissement latéral faible, et un capteur « road eye », pour mesurer la réflexion des faisceaux laser. Les données issues de chaque dispositif furent enregistrées grâce à LabVIEW sur un PC portable. Le PC et les appareils de mesure étaient reliés par deux convertisseurs RS232 vers USB en série et à grande vitesse. Les principaux tests furent réalisés sur une surface verglacée du lac Kakel situé à proximité d'Arjeplog, la métropole dédiée aux essais automobiles dans le nord de la Suède.

### 2.1. Dispositif de glissement latéral faible

Le principal dispositif est un RT3 utilisant un pneu Bridgestone Blizzak Nordic WN-01, légèrement incliné afin d'obtenir un glissement latéral faible (voir la Figure 1). Dans le moyeu du dispositif, une cellule de charge mesure les forces latérales générées par l'adhérence entre le pneu de mesure et la surface de la route. L'indice HFN (*Halliday Friction Number*) mesurant les frictions, est proportionnel à la force mesurée par la cellule de charge. La relation est : Adhérence =  $(511,5/81,76) * HFN$  (l'unité est le Newton [N]). Par exemple, 100 HFN = 625,6 N. Les forces latérales dépendent du type de pneu et de la profondeur de sculpture du pneu. Un plan de compensation par linéarisation pour chaque type de pneu est programmé dans le module de commande. Cela signifie que les forces augmentent avec l'usure du pneu. L'enregistrement des données s'effectue à une fréquence de 1 Hz. En pratique, cela signifie qu'une moyenne portant sur 100 relevés est envoyée au PC portable par l'intermédiaire du convertisseur RS232 vers USB.

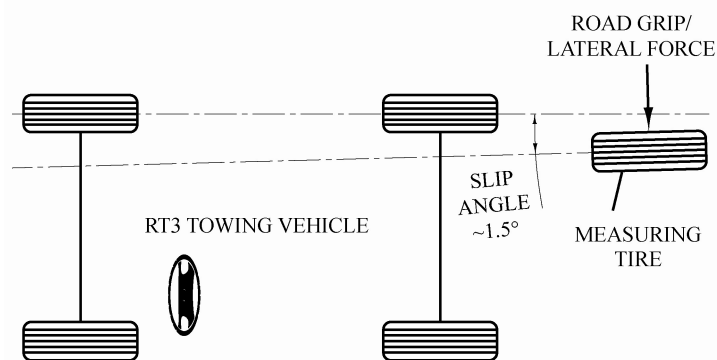


Figure 1 – Représentation schématique de l'unité de glissement latéral faible mesurant l'adhérence

### 2.2. Réflexion des faisceaux laser sur la surface

Le second dispositif utilisé comprend trois faisceaux laser pour l'éclairage et une photodiode pour la détection. Les diodes laser émettent un rayonnement cohérent avec des longueurs d'ondes de 980 nm, 1323 nm et 1566 nm. Les rapports entre les rayonnements réfléchis à partir des différentes longueurs d'ondes laser sont utilisés pour déterminer le type de surface vers lequel est pointé le détecteur (voir Casselgren et al.

[4]). Les graphiques de la Figure 2 présentent l'intensité réfléchie de quatre surfaces lorsqu'elles sont éclairées par la lumière halogène à spectre continu du détecteur. Cette version du « road eye » (brevet suédois n°9904665-8) permet de détecter quatre types de surface différents : asphalt sec, asphalt humide, verglas et neige. Les longueurs d'ondes ont été sélectionnées suite à des recherches sur les caractéristiques de la glace, de l'eau, de l'asphalte enneigé et de l'asphalte nu (voir Casselgren et al. [5]).

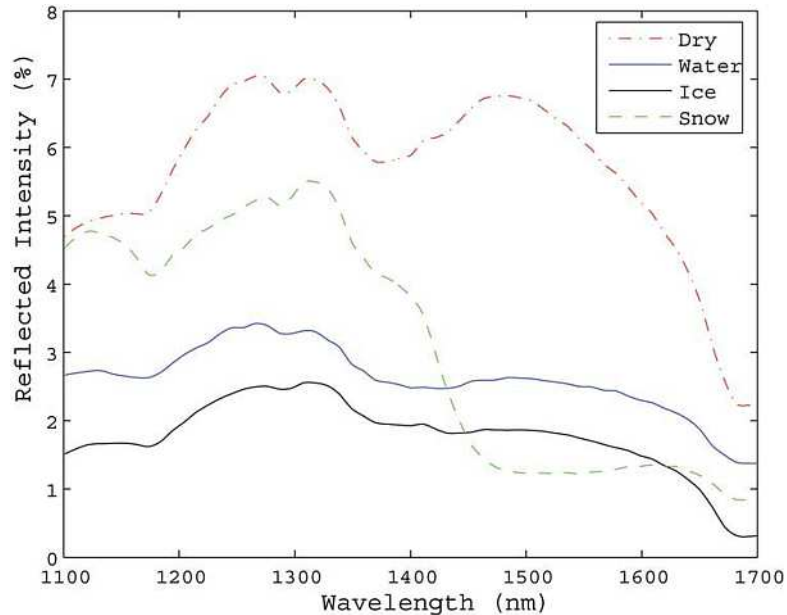


Figure 2 – Intensités réfléchies pour quatre surfaces lorsqu'elles sont éclairées avec un spectre continu provenant d'une source de lumière halogène. Source : Casselgren et al. [4].

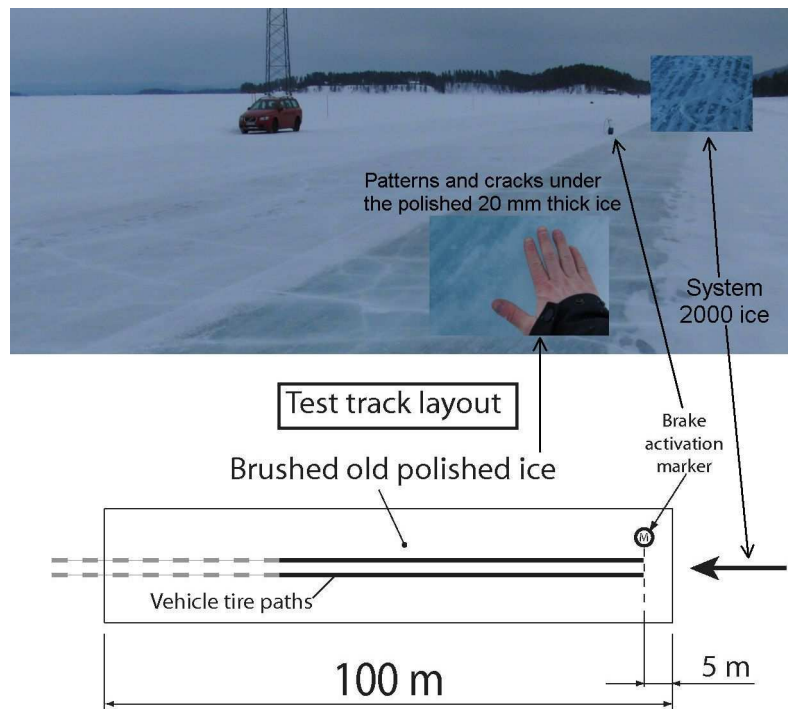
Les recherches menées par Casselgren et al. [6] ont indiqué que les sources d'éclairage à polarisation « s » augmentent la capacité de détection lorsqu'elles sont associées à un analyseur de polarisation en tant que détecteur. Le détecteur et les lentilles situés devant les faisceaux laser focalisent les mesures sur une zone concentrée. La zone de mesure est visée devant la roue à glissement longitudinal faible. Le détecteur à laser et le dispositif de glissement longitudinal faible sont installés sur le véhicule de remorquage comme l'illustre la Figure 3.



Figure 3 – RT3 et « road eye » sur le véhicule de remorquage

### 2.3. Piste d'essai

La partie de la piste d'essai caractérisée par de la glace ancienne, polie et brossée, était d'environ 100 m de long sur 10 m de large. Située dans une zone de test d'une longueur de 1 km et d'une largeur de 80 m, elle fut préparée à l'aide d'une lame niveleuse équipée de dents de type « system 2000 ». La glace polie est produite par une machine à glace qui inonde la glace avec de l'eau et lisse l'eau à l'aide d'une étoffe épaisse. La surface polie de la glace datait de plusieurs jours et les débris ainsi que la neige furent déblayés avant d'effectuer les tests.



**Figure 4 – Partie inférieure, disposition de la piste d'essai, images, illustrant la glace ancienne, polie et brossée ainsi que la glace « system 2000 ».**

### 2.4. Déroulement du test

Ce test fut réalisé avec un flux régulier de véhicules effectuant des essais de freinage sur une surface verglacée ancienne, polie et brossée. Le véhicule de remorquage accéléra sur la glace « system 2000 » pour atteindre l'une des vitesses de mesure, à savoir 30 km/h, 50 km/h ou 70 km/h, avant d'atteindre la glace ancienne, polie et brossée. La mesure débuta juste avant d'atteindre la zone de glace ancienne, polie et brossée. Chaque test fut réalisé trois fois pour chaque vitesse. Les tests furent réalisés à nouveau plusieurs fois chaque jour.

### 2.5. Conditions pendant les essais

Les tests furent réalisés en février et mars 2009. Les données relatives aux conditions furent enregistrées à l'aide d'une station météorologique classique (Oregon scientific WMR100N) et d'un enregistreur de données USB-502 relevant les températures et l'humidité relative, positionnés sur la glace. L'enregistreur de données USB fut protégé contre la lumière directe du soleil par un écran. Les données thermiques et d'humidité relative sont présentées à la Figure 5 et à la Figure 6.

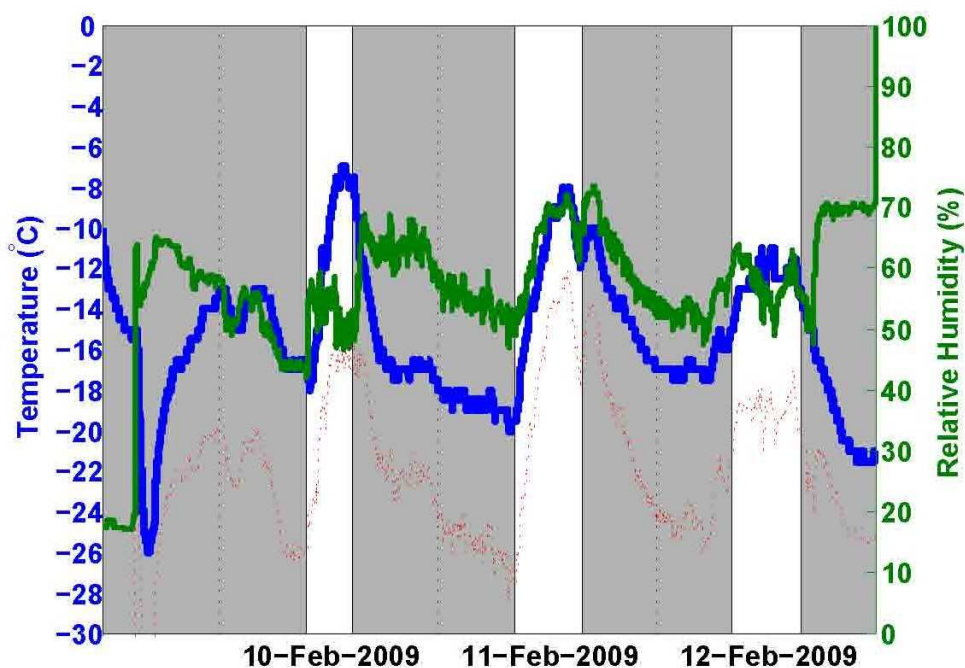


Figure 5 – Tableau des températures et de l’humidité relative du 10 février au 12 février 2009. Les parties en blanc indiquent des périodes de mesure active.

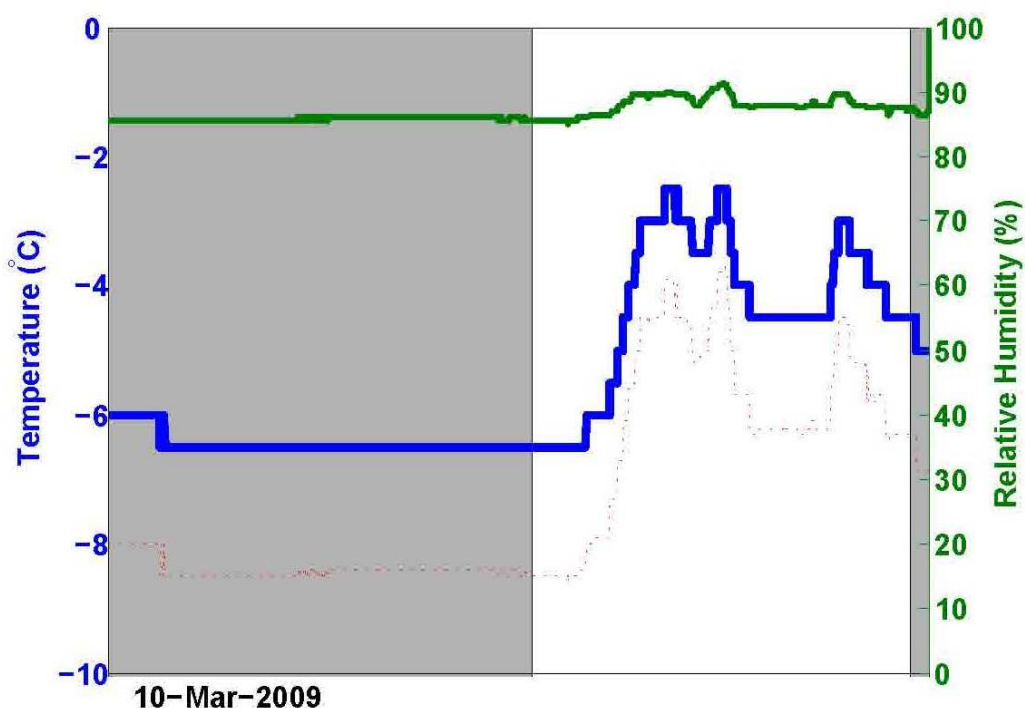


Figure 6 – Tableau des températures et de l’humidité relative à partir du 10 mars 2009.

## 2.6. Traitement des données

Sur la Figure 7, l’axe des ordonnées de gauche représente les mesures d’adhérence obtenues à l’aide du dispositif de glissement latéral faible, exprimées en utilisant l’échelle HFN (*Halliday Friction Number*) de mesure des frictions. L’axe des ordonnées de droite présente le rapport calculé entre les intensités réfléchies pour des longueurs d’ondes de 1566 nm et 1323 nm, ce qui suffit à faire la distinction entre la glace et la neige.

La Figure 7 illustre une mesure prise le 9 mars 2009 à 70 km/h. Le véhicule de remorquage quitte la première surface « system 2000 » et pénètre dans la zone de glace ancienne et polie ; l'indice HFN baisse au moment où le rapport de réflexion change. À la fin du graphique, nous observons que le rapport d'intensité et l'indice HFN augmentent à nouveau pour revenir à des valeurs similaires lorsque le véhicule quitte la zone de glace ancienne et polie d'une longueur de 100 m.

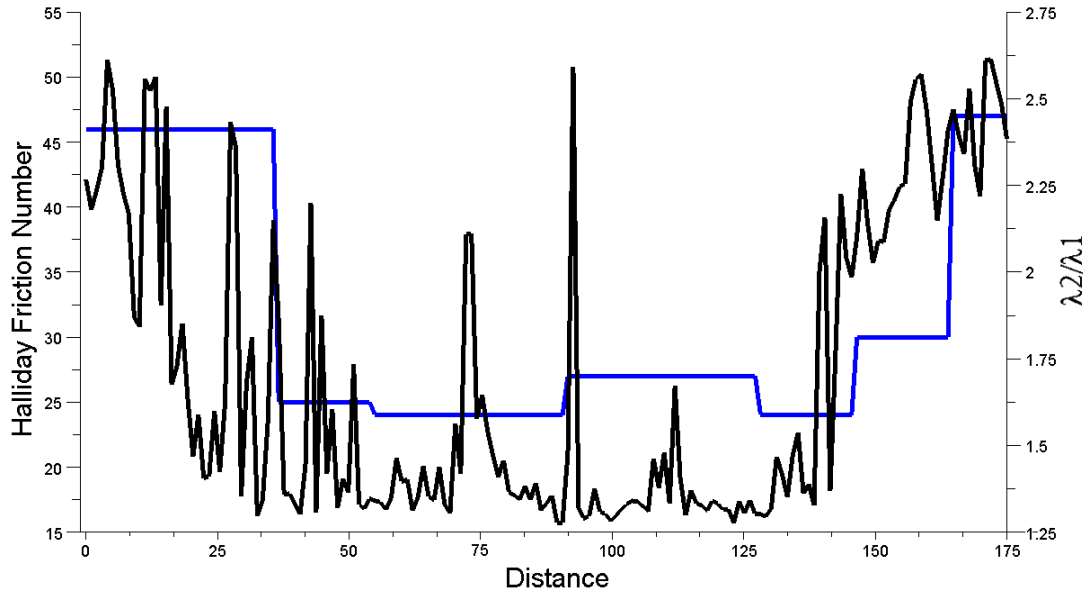
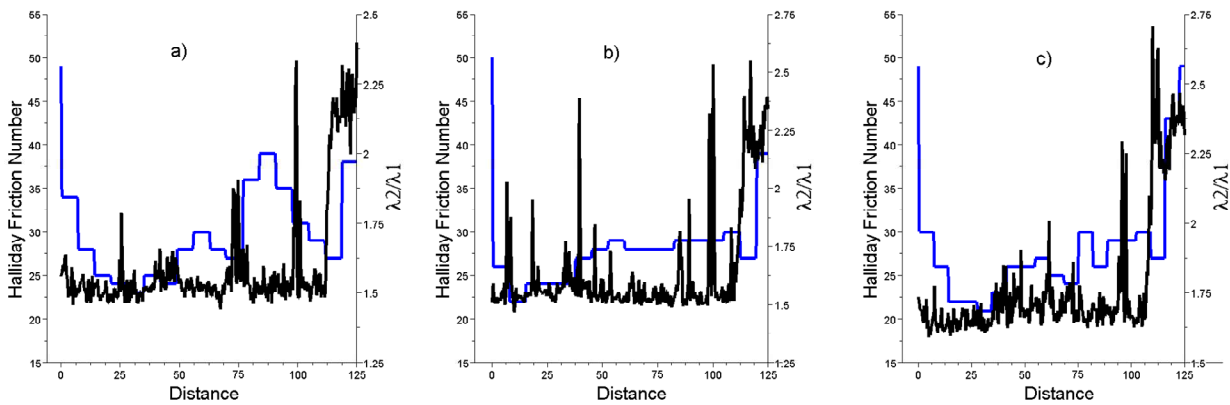


Figure 7 – Adhérence, courbe bleue d'une fréquence d'échantillonnage de 1 Hz, moins rapide que le rapport « réfléchi »  $\lambda_2/\lambda_1$  (courbe noire fractionnée).

### 3. RÉSULTATS DES MESURES

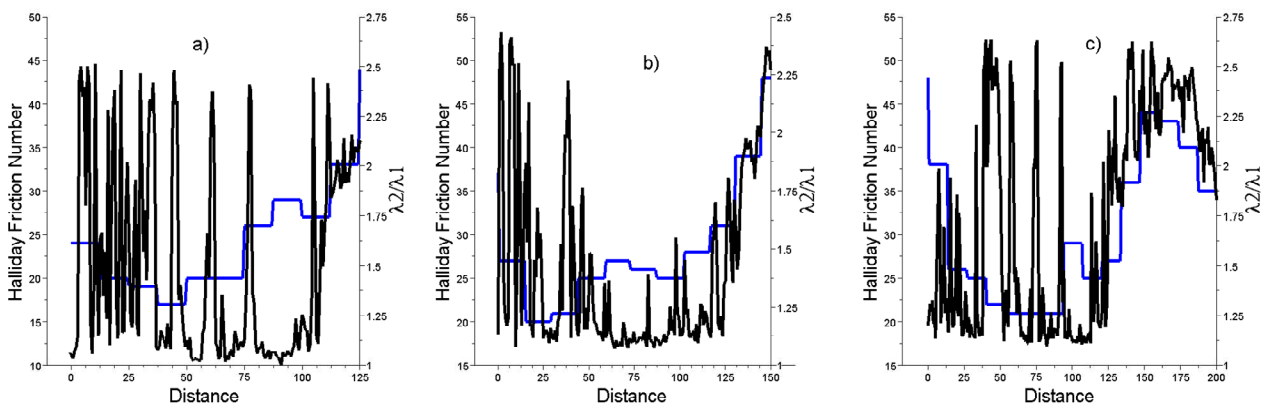
Sur les Figures 8 a), b) et c), nous observons une partie, au début de la zone de glace ancienne, polie et brossée, présentant une adhérence/un indice HFN inférieur aux autres tronçons de cette zone. Ceci s'explique par les essais de freinage réalisés parallèlement à nos mesures. Les systèmes ABS bloquent souvent les roues au début d'une séquence de freinage, surtout sur une surface présentant cette faible adhérence. Ceci conduit à un tronçon poli où les aspérités sont supprimées. Les pics du rapport d'intensité sont dus aux accumulations de neige en raison des légères chutes de neige qui se produisent par intermittence lors de ces mesures. Les chutes de neige provoquent également la corruption de nombreuses mesures car le tube de protection du « road eye » fut obstrué par la neige. Le tube fut nettoyé fréquemment à l'aide d'une brosse pour permettre la prise des mesures. Vers la fin de la zone de glace ancienne, polie et brossée, nous observons une hausse de l'indice HFN et du rapport d'intensité, ce qui indique que le « road eye » peut détecter les changements de caractéristiques de la surface.





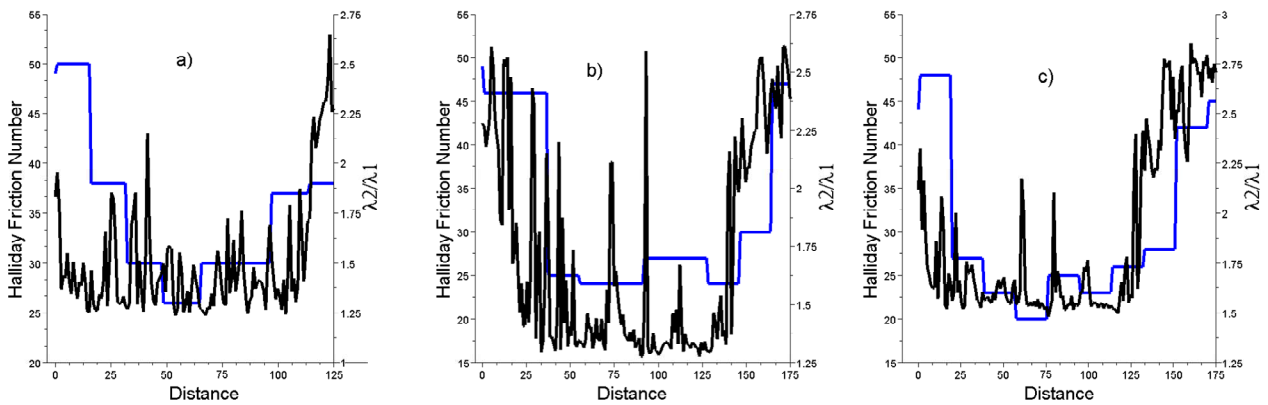
**Figure 8 – HFN et rapport d'intensité pour trois mesures consécutives à 30 km/h.  
Mesures relevées le 9 mars 2009 entre 11h14 et 11h19. Température -5 °C.**

Les Figures 9 a), b) et c) représentent les mesures relevées à 50 km/h, seulement quelques minutes après les mesures à 30 km/h de la Figure 8. La différence étant que le rapport d'intensité est beaucoup plus instable. Nous constatons également que la signature des indices HFN change légèrement entre chaque test. La faible adhérence initiale est toujours présente car les systèmes ABS polissent de manière homogène ce tronçon de la piste d'essai. D'autres zones de glissement faible peuvent être observées car la fin des essais de freinage avec ABS maximum génère également des conditions de blocage des roues. Les tests de freinage furent réalisés aux mêmes vitesses de test, conduisant à différentes positions de freinage tout au long des tests.



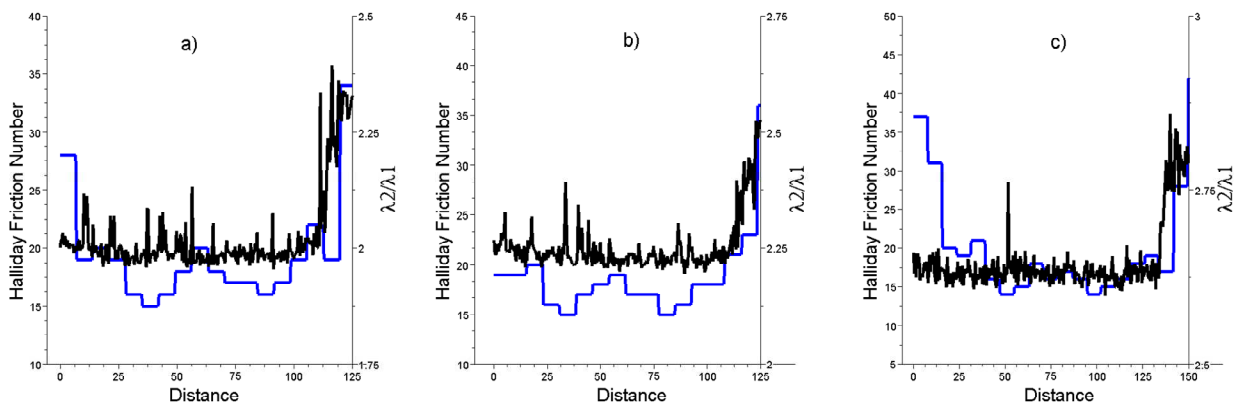
**Figure 9 – HFN et rapport d'intensité pour trois mesures consécutives à 50 km/h.  
Mesures relevées le 9 mars 2009 entre 10h58 et 11h01. Température -5 °C.**

Sur les Figures 10 b) et c), les mesures commencèrent légèrement plus tôt ce qui nous permit de constater que le rapport d'intensité baissait légèrement plus vite que l'indice HFN en raison de la fréquence d'échantillonnage plus élevée et du fait que le lieu de mesure est situé à environ 1,2 m devant le lieu de contact entre le dispositif de glissement latéral faible et la surface gelée du lac.



**Figure 10 – HFN et rapport d'intensité pour trois mesures consécutives à 70 km/h. Mesures relevées le 9 mars 2009 entre 11h03 et 11h07. Température -5 °C.**

Les Figures 11 a), b) et c) représentent une répétition de la mesure observée à la Figure 8. Nous observons sur la courbe bleue (représentant l'indice HFN) que l'adhérence s'est stabilisée sur toute la longueur de la zone de glace ancienne, polie et broyée.



**Figure 11 - HFN et rapport d'intensité pour trois mesures consécutives à 30 km/h. Mesures relevées le 9 mars 2009 entre 16h00 et 16h03. Température -5 °C.**

La Figure 12 représente une mesure prise environ un mois plus tôt, à une période où les températures étaient inférieures d'environ 9 °C ; nous observons que l'indice HFN est beaucoup plus élevé en comparaison avec les autres mesures. Les différences au niveau du rapport d'intensité ne sont pas claires et moins corrélées à l'indice HFN. Nous constatons également que les différences au niveau de l'adhérence dépendent moins de la surface sur laquelle passe le dispositif de glissement latéral faible.



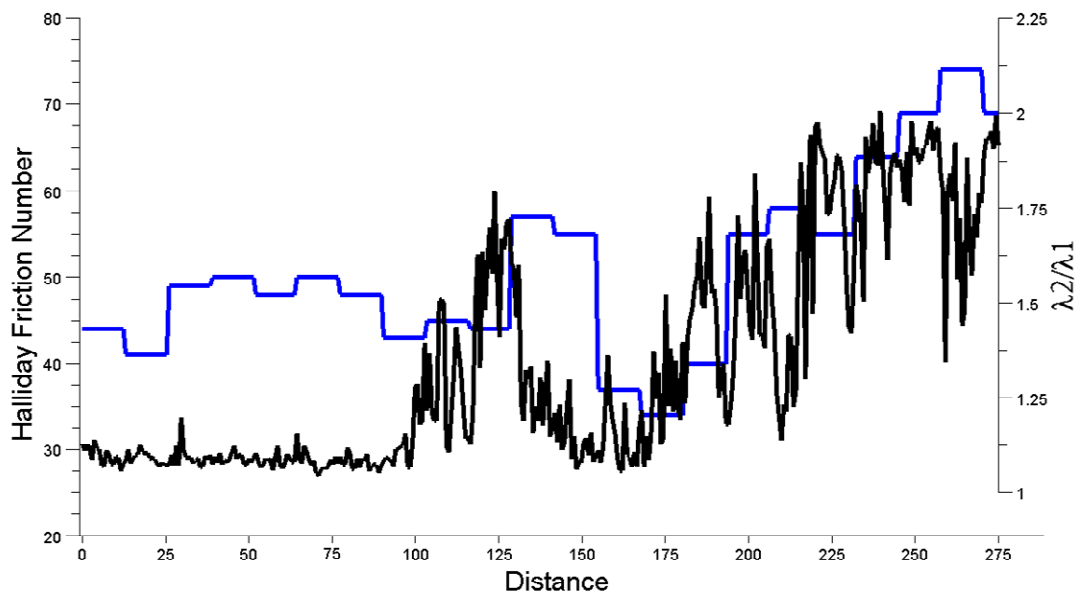


Figure 12 - HFN et rapport d'intensité mesurés à 50 km/h.  
Mesures relevées le 13 février 2009 à 09h50. Température -14 °C.

#### 4. DISCUSSION

Les premières tentatives visant à identifier les méthodes les plus économiques ne sont pas encourageantes ; pour mesurer l'adhérence correctement, il est nécessaire d'utiliser une méthode fonctionnant dans un maximum de conditions. Nous observons à la Figure 9 que la méthode utilisée pour mesurer le rapport d'intensité est facilement perturbée par la pollution présente sur la surface de la route, mais que cette pollution ne modifie pas l'indice HFN de manière importante. Cela n'empêchera pas les détecteurs à bas prix d'entrer sur le marché automobile. Chaque capteur ajoutera ses propres informations au module de commande principal afin de permettre aux interactions nécessaires et aux avertissements d'arriver jusqu'au conducteur. Le principal problème que nous avons rencontré lors de l'utilisation du « road eye » fut la pollution des lentilles, désactivant ainsi le capteur.

#### 5. TRAVAUX À VENIR

Au cours de l'hiver 2009/2010, nous prendrons des mesures à l'aide d'un nouveau dispositif de mesure de l'adhérence et du « road eye » ; ces mesures serviront de carte de base illustrant le type de signal pouvant être généré par le « road eye ». Grâce à cette carte, nous pourrions éventuellement installer des caméras fixes de type « road eye » le long des routes, et recueillir des informations sur l'adhérence afin de les distribuer aux conducteurs de cette zone.

#### RÉFÉRENCES

- [1] Gustafsson, M. ; Blomqvist, G. ; Gudmundsson, A. ; Dahl, A. ; Swietlicki, E. ; Boghard, M. ; Lindbom, J. & Ljungman, A. (2008). Properties and toxicological effects of particles from the interaction between tyres, road pavement and winter traction material. *Science of the Total Environment*, Vol 393, 226-240.
- [2] Takagi, H. ; Onuma, H. ; Shimojo, A. (1996). Effects of studded tires regulation on road environments and traffic conditions in Hokkaido. *Transportation Research Board Conference Proceedings*, issue Number 16. p. 103-110. ISSN: 1073-1652. 500 Fifth Street, NW, Washington DC 20001 USA.

- [3] Engström, N. ; Andrén, H. ; Nybacka, M. ; Fransson, L. ; Larsson, R. (2008). Road grip test in Arjeplog. Technical report ISSN:1402-1536, Luleå University of Technology, 97187 Luleå.
- [4] Casselgren, J. ; Sjö Dahl, M.; Sandfrisson, M. & Woxneryd, S. (2007). Classification of road conditions – to improve safety. Advance Microsystems for Automotive Applications 2007, Valldorf, J. & Gessner, W. eds. Springer, Berlin, Germany, 2007, pp. 47-59.
- [5] Casselgren, J. ; Sjö Dahl, M. & Leblanc, J. (2007). Angular spectral response form covered asphalt. Appl. Opt. 46, 4277-4288 (2007)
- [6] Casselgren, J. & Sjö Dahl, M. (2007). Polarization resolved classification of winter road conditions in the near infrared region. P.hd. thesis Road surface classification using near infrared spectroscopy, Luleå Technical University, SE-971 87 Luleå, Sweden. ISSN:1402-1757