

Alertes aux conducteurs : estimation des distances de freinage

Pierre-Olivier VANDANJON¹, Yves DELANNE¹, Minh-Tan DO¹, Arnaud ANDRIEUX¹, Stephan DEIX²

¹Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Route de Bouaye, BP 44341, 44341 Bouguenais Cedex, France

²Arsenal Research
Techbase Vienna, Giefinggasse 2, 1210 Vienna, Austria
pierre-olivier.vandanjon@lcpc.fr

Résumé — Alors que les conducteurs de véhicule adaptent leur vitesse par temps de pluie, ce n'est plus le cas sur chaussée humide alors que l'adhérence, elle, est significativement réduite. Cette mauvaise perception des conditions dégradées d'adhérence est à l'origine de nombreux accidents en France et en Europe. Plusieurs études sont en cours afin de délivrer au système véhicule-conducteur des informations sur les conditions d'adhérence. Dans le cadre du projet européen INTRO (Intelligent Roads), nous avons proposé un système d'estimation des conditions d'adhérence des véhicules légers compréhensibles par le système véhicule-infrastructure sous la forme d'une information sur la distance de freinage. Généralement, ce type d'estimation est basé sur les mesures effectuées sur le véhicule. L'originalité de la démarche proposée dans INTRO est que notre système d'estimation utilise des informations provenant du véhicule : efficacité de l'ABS et des pneumatiques, mais aussi de la chaussée : adhérence conventionnelle du revêtement, c'est à dire l'adhérence mesurée par les gestionnaires routiers et les conditions météorologiques. Ces informations provenant de deux sources séparées permettent d'estimer l'adhérence mobilisable et ainsi de calculer une distance de freinage. Cette méthodologie a été testée sur 3 véhicules légers et 5 revêtements sur la piste d'expérimentation routière du LCPC/Centre de Nantes en utilisant différents systèmes de mesure de l'adhérence conventionnelle.

Abstract — Generally, drivers decrease their velocity when it rains but do not adapt their velocity when the road is wet although the skid resistance is significantly smaller. This misperception of bad skid resistance leads to several accidents in France and in Europe. The objective of several current studies is to deliver to the driver valuable and comprehensive information on skid resistance. In the frame of the european project INTRO (INTelligent ROad), it is proposed to deliver to the driver a comprehensive information on braking distance. This distance depends on the maximum skid resistance. Generally, maximum skid resistance is estimated through on-board sensor. We propose a new methodology using on-board sensors but also information from the road such as the conventional skid resistance, measured by road managers. This approach has been validated on the experimental track of the LCPC in Nantes for three vehicles and for five different surface types.

1 Introduction

L'estimation des distances d'arrêt lorsque la chaussée est mouillée est un enjeu de sécurité routière. Les conditions d'adhérence sont dégradées sans que le système conducteur - véhicule en soit averti. Ce changement des conditions d'adhérence, non perceptible par le conducteur, induit l'augmentation des distances d'arrêt d'au moins 20 % ([2]). Classiquement, les distances d'arrêt sont segmentées en 3 phases :

1. le temps nécessaire au conducteur de prendre conscience du danger et de mouvoir son pied de l'accélérateur vers la pédale de frein. Ce temps est compris entre 0,4 s et 1 s.
2. le temps écoulé entre le moment où le conducteur appuie sur la pédale de frein et le véhicule commence à décélérer. Ce temps est environ 0.05s.
3. le temps de décélération jusqu'à l'arrêt complet du véhicule. La distance correspondant à cette phase est appelée la distance de freinage.

L'objet de cet article est l'estimation de cette distance de freinage.

Il y a deux façons d'aborder ce problème :

- soit par problème direct : à partir d'un modèle de chaussée, de pneumatique, de système de freinage, une distance de freinage est calculée.
- soit par problème inverse : l'adhérence de la chaussée est identifiée en temps réel (c'est le problème inverse), une distance de freinage en est déduite.

Dans la suite, chacune de ces approches est présentée par un exemple concret : le problème inverse est illustré par un système commercial vendu par la société suédoise NIRA dynamics AB : il s'agit d'un système d'estimation d'adhérence embarqué. Le problème direct est illustré par une méthode développée et validée partiellement au sein du projet européen INTRO (INTelligent ROad). Cette méthode s'appuie sur des échanges d'information entre la chaussée et le véhicule.

2 Estimateur embarqué

Il existe plusieurs méthodes d'estimation embarquée de l'adhérence par méthode inverse :

1. avec un pneumatique instrumenté ([7])
2. par des méthodes acoustiques ([3])
3. en utilisant des méthodes basées sur la relation entre le coefficient de frottement et le taux de glissement ([4])

Nous avons choisi de présenter ces dernières méthodes car elles ont déjà abouti à des produits commerciaux.

2.1 Modélisation

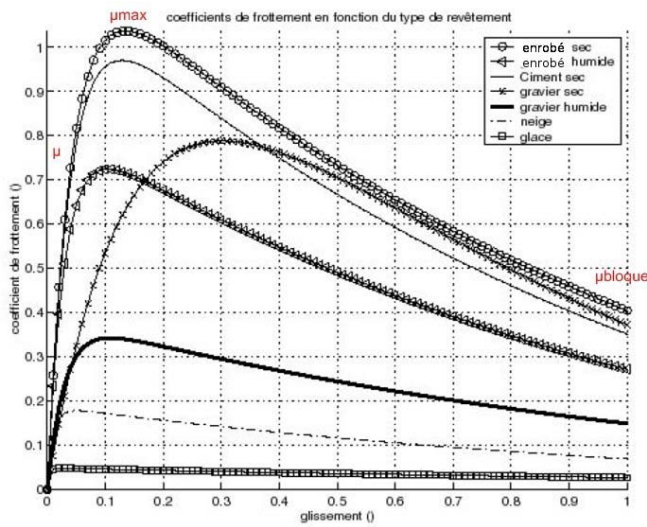


FIG. 1 – influence du revêtement sur les courbes de frottement

Le principe de cette estimation découle de la figure 1 qui décrit l'évolution du coefficient de frottement longitudinal μ en fonction du taux de glissement longitudinal κ selon différents revêtement. Ces variables sont définies par les équations suivantes :

$$\mu = \frac{F_x}{F_z} \quad (1)$$

avec F_x la force de frottement longitudinal et F_z la charge normale sur la roue

$$\kappa = \frac{V - R \times \omega}{V} \quad (2)$$

avec R le rayon efficace de la roue, ω , la vitesse angulaire de la roue et V la vitesse longitudinale du véhicule.

Gustafsson ([4]) définit la pente à l'origine λ de la courbe :

$$\lambda = \frac{d\mu}{d\kappa}(0) \quad (3)$$

Au vue d'essais expérimentaux (voir figure 1) ainsi que de résultats théoriques ([9]), il est supposé une relation entre λ et le coefficient de frottement μ_{max} . Connaissant μ_{max} , il est alors possible de calculer une distance de freinage par intégration des équations de la dynamique.

Le but est donc prédire, dès les faibles valeurs de μ , correspondant à une vitesse stabilisée, le potentiel maximal de frottement μ_{max} . Un modèle linéaire entre μ et κ est admis pour ces faibles valeurs :

$$\mu = \lambda \times (\kappa - \delta) \quad (4)$$

δ est le décalage à l'origine.

Gustafsson ([4]) utilise un filtre de Kalman pour estimer λ et κ en se basant sur l'équation d'état suivante sur chacune des roues motrices

$$\kappa(t) = (\mu(t) - 1) \cdot \left(\frac{1}{\lambda} \right) + e(t) \quad (5)$$

κ est calculé par différence entre les vitesses angulaires de la roue motrice et celle menée du même côté du véhicule.

μ est calculé à partir :

- de la cartographie moteur en fonction du régime moteur pour F_x
- d'un modèle de suspension pour F_z .

Une variation brusque de revêtement est détectée par un algorithme de détection de changement d'état de type CUSUM ([5]) appliquée à l'innovation e : différence entre le taux de glissement mesuré et le taux de glissement prédit :

$$e(t) = \kappa(t) - \hat{\kappa}(t) \quad (6)$$

Lorsque le cumul de cette erreur dépasse un seuil, une alarme se déclenche indiquant un changement dans l'adhérence de la chaussée.

2.2 Application, Validation

L'entreprise suédoise "Nira Dynamics AB" ([8]) a conçu un système d'estimation embarqué de l'adhérence utilisant les informations fournies par le système ESP. Ce système est évidemment protégé mais le principe utilise les résultats précédents.

Un sous produit de ce système est commercialisé sur des véhicules Audi TT sous l'appellation "Tire pressure Indicator". Nous pouvons supposer que la détection brusque de changement d'état est imputée à une variation du rayon du pneumatique consécutive à une chute des pressions de gonflage. Ce système permet donc de détecter des crevaisons. Au sein du projet européen INTRO, des recherches sont en cours pour qualifier un autre sous produit du système concernant les changements de revêtements.

Les difficultés sont de deux types.

1. Métrologique : en vitesse stabilisée, les taux de glissement sont de l'ordre de 0,005. Les capteurs ABS n'ont pas une résolution adaptée à ce type d'application (environ 30 dents). Ce sont des contraintes fortes pour les filtres mis en oeuvre ([9]) qui doivent fournir une information pas trop retardée.
2. Théorique : la possibilité de prédire un μ_{max} à partir de μ faible, (inférieur à 0.2) reste un sujet de débat dans la communauté des dynamiciens et des pneumaticiens car la bande de fréquence de l'excitation du pneumatique n'est pas la même en vitesse stabilisée et lors d'un freinage d'urgence.

3 Problème direct

Généralement, l'approche directe consiste à utiliser des capteurs exteroceptifs mesurant la texture de la chaussée afin de prédire le coefficient de frottement ([1], [3]). Pour l'instant, cette approche nécessite des capteurs onéreux qu'il n'est pas possible d'intégrer dans des véhicules de série. Une autre approche consiste à transmettre des informations connues des gestionnaires routiers au système de freinage ([10], [6]). Cette approche, développée au sein du projet européen (INTRO), s'appuyant sur des concepts de communication entre le véhicule et la route en cours d'expérimentation au sein du projet national SARI/IRCAD, est présentée ici.

3.1 Modélisation

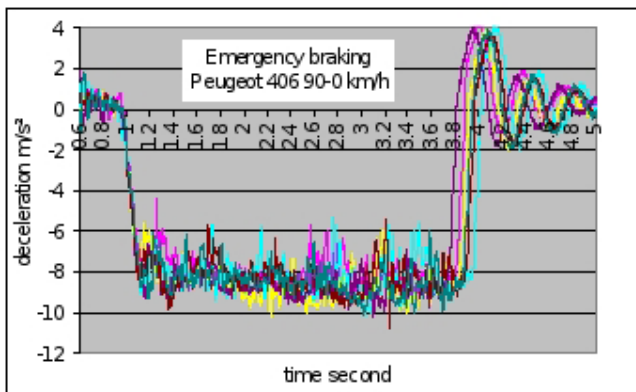


FIG. 2 – Cinq décélérations de la Peugeot 406

La figure 2 représente cinq courbes de décélération lors d'un freinage d'urgence avec ABS sur un enrobé de type Béton Bitumineux Très Mince (BBTM). Cette courbe comprend trois parties :

- une phase transitoire qui correspond à la décélération de la roue, générant un glissement et donc établissant une force de freinage.
- une phase stationnaire : les fluctuations durant cette phase dépendent de l'adhérence disponible et de la régulation par l'ABS.
- une phase d'oscillations amorties : ces oscillations correspondent à la dissipation de l'énergie potentielle emmagasinée dans les suspensions du véhicule lors du transfert de charge qui s'effectue en amorce de freinage.

Dans cette étude, seules les deux premières parties de la courbe nous intéressent. Cette analyse amène à une modélisation simple de la dynamique du véhicule pendant un freinage : une phase linéaire et une phase constante, dont les équations sont (par soucis de simplicité, nous ne tenons pas compte de la gravité) :

$$\gamma(t) = a \times \mu_{max} \times g \times \frac{t}{t_s} \text{ avant } t_s \quad (7)$$

$$\gamma(t) = b \times \mu_{max} \times g \text{ après } t_s \quad (8)$$

où γ est la décélération du véhicule, g est l'accélération

de la gravité, μ_{max} est le coefficient de frottement maximal entre le véhicule et la chaussée, t_s est la durée de la phase transitoire, a est le coefficient de proportionnalité entre le glissement et le coefficient de frottement, b est le coefficient entre le coefficient de frottement maximal et le coefficient de frottement moyen obtenu par l'ABS sur la phase transitoire $\mu_{ABS} = b \times \mu_{max}$, il représente l'efficacité de l'ABS.

Pour calculer une distance d'arrêt, les équations 7 et 8 sont intégrées deux fois. Pour une estimation embarquée de la distance d'arrêt, il faut donc connaître :

- a , b et t_s qui sont principalement liés au système de freinage
- μ_{max} qui peut être analysé comme plutôt lié à la chaussée

3.2 Application

Le principe consiste à effectuer avec le véhicule un freinage d'urgence et de déterminer ainsi les paramètres liés au système de freinage a, b et t_s .

Le paramètre μ_{max} dépend de l'adhérence fournie par la route. Cette information dépend de deux paramètres ([2]) :

- les paramètres chaussée.
- les conditions météorologiques : principalement la hauteur d'eau.

Les gestionnaires routiers suivent régulièrement l'évolution de leurs réseaux en mesurant une adhérence conventionnelle. Cette information peut être utilisée par le système embarqué pour mettre à jour μ_{max} et recalculer une distance d'arrêt lorsque le revêtement change de nature. En ce qui concerne les conditions météorologiques, le LCPC teste actuellement des équipements en bord de voie permettant d'informer le véhicule des hauteurs d'eau sur la chaussée. Ce système d'information est basé sur des stations météo et des modèles de séchage et de ruissellement de la pluie sur la chaussée. Ces tests se déroulent au sein du projet national SARI/IRCAD.

3.3 Validation

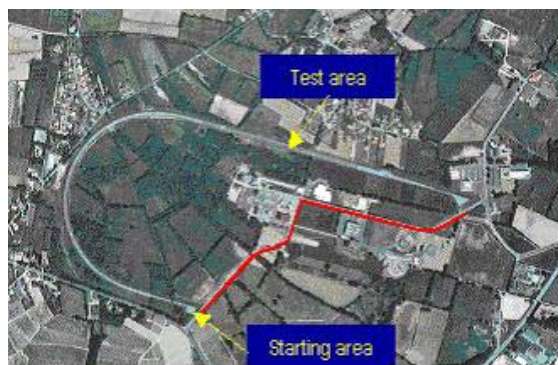


FIG. 3 – piste d'expérimentation routière du LCPC

La figure 3 illustre la piste d'expérimentation routière du LCPC. Elle permet de tester différents revêtements. Ces revêtements sont disposés sur des planches d'une lon-

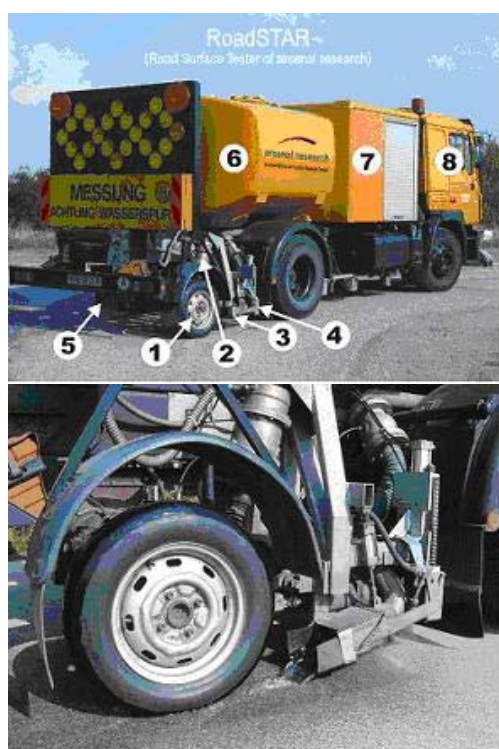


FIG. 4 – appareil d’auscultation roadstar, zoom sur son système de mesure de l’adhérence

gueur minimale de 125m et d’une largeur de 3m. Un virage relevé permet d’atteindre une vitesse maximale de 130 km/h lors de l’arrivée sur ces planches. Un système d’arrosage permet de faire nos essais sur revêtement mouillé.

Le plan d’expérience a consisté à faire des freinages d’urgence sur 5 revêtements différents mouillés : Enduit Superficiel 0.8/1.5, Béton Bitumineux Semi Grenus 0/10, Béton Bitumineux Très Mince 0/6, Sable Enrobé, Béton Bitumineux Drainant avec trois véhicules différents : une Peugeot 307, une Peugeot 406 et une Renault Clio. Pour chacun des essais, nous avons calculé les trois paramètres : a , b , t_s , à partir des courbes de décélération.

L’adhérence conventionnelle a été mesurée en utilisant l’appareil RoadStar (voir figure 4). Cet instrument d’auscultation de l’adhérence de la chaussée est un camion équipé d’une cinquième roue dont le taux de glissement est fixé à une constante (ici 18 %), la charge sur la roue est maintenue constante ainsi que la hauteur d’eau devant le contact pneumatique-chaussée.

Pour cette expérimentation, les types de pneumatiques montées sur les véhicules et sur le Roadstar étaient identiques.

Nous avons comparé les distances d’arrêt mesurées et les distances d’arrêt prédites. Notre système permet de calculer les distances d’arrêt avec une précision de plus ou moins 10 % sauf pour une combinaison véhicule-revêtement qui reste en cours d’étude.

Cela reste une première étape dans la validation : nous étions dans des conditions favorables : mêmes pneumatiques entre l’appareil d’auscultation et les véhicules, hauteurs d’eau à peu près équivalentes, ... Par ailleurs, cette

méthodologie suppose des systèmes bord de voie qui informent le système de freinage des hauteurs d’eau. Ces systèmes sont en phase d’étude de faisabilité, leur déploiement n’est pas programmé à court terme. L’approche présentée n’est donc pas applicable à court terme.

4 Perspectives

Nous avons présenté deux systèmes d’estimation des distances de freinage. Le premier est basé sur des mesures proprioceptives du véhicule. Ce système, commercialisé par la société “NIRA dynamics AB”, permet, pour le moment, de détecter des chutes de pression. Des études sont en cours pour qualifier le système du point de vue de sa capacité à détecter des changements d’adhérence. Le deuxième système utilise des informations fournies par les gestionnaires routiers qui mesurent régulièrement l’adhérence conventionnelle de leurs réseaux. Cependant, même si sa validité technique a été, en partie, prouvée, il n’est pas applicable à court terme car il nécessite de systèmes en bord de voie permettant d’informer le système véhicule - conducteur des conditions météorologiques et notamment de la hauteur d’eau présente sur la chaussée.

Pour obtenir un système bas coût, intégrable sur des véhicules de série, une approche consiste à fusionner ces deux systèmes à l’aide de techniques bayésiennes. Ce sont les perspectives de nos travaux actuels.

Références

- [1] M-T.Do. *Relation entre microtexture et adhérence*. numéro spécial adhérence, Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, 2005
- [2] Y. Delanne, M. Gothié. *Influence de l’état de mouillage sur les performances d’adhérence des pneumatiques*. numéro spécial adhérence, Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, 2005
- [3] U. Eichhorn, J. Roth. *Prediction and monitoring of tyre/road friction*. FISITA, 1992.
- [4] F. Gustafsson. *Slib-based tire-road friction estimation*. AUTOMATICA, 33(6) :1087-1099, 1997.
- [5] F. Gustafsson. *Adaptive Filtering and Change Detection*. John Wiley & Sons, West Sussex, England 2000.
- [6] V. Ivanov *Investigation in Intelligent Active Safety Control Based on Software Fusion* Belarusian National Technical University, FISITA, 2007.
- [7] H. Morinaga. *The Possibility of Intelligent Tire*. Bridgestone Corporation, FISITA, 2007.
- [8] <http://www.niradynamics.se/>
- [9] M.R. Uchanski. *Road Friction Estimation for Automobiles Using Digital Signal Processing Methods*. Ph.D, university of Berkeley, 2001.
- [10] P-O. Vandanjon, Y. Delanne, M-T. Do, S. Deix *Drivers warning : locally estimated stopping distance*. ITS, 2006.