



HAL
open science

Dynamique limite pour systèmes d'alertes aux conducteurs des deux-roues motorisés

Hamid Slimi, Hichem Arioui, Saïd Mammar

► **To cite this version:**

Hamid Slimi, Hichem Arioui, Saïd Mammar. Dynamique limite pour systèmes d'alertes aux conducteurs des deux-roues motorisés. Septième Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Jul 2012, Grenoble, France. pp.1-6. hal-00692566

HAL Id: hal-00692566

<https://hal.science/hal-00692566v1>

Submitted on 2 May 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dynamique limite pour systèmes d’alertes aux conducteurs des deux-roues motorisés

H. Slimi* H. Arioui* S. Mammar*

* *Laboratoire Informatique, Biologie Intégrative et Systèmes Complexes
IBISC-EA 4526. 40, Rue de Pelvoux 91020 Evry Courcouronnes.
Hamid.Slimi@ibisc.univ-evry.fr.*

Résumé

Dans cet article, on décrit une méthodologie de développement d’une aide à la conduite dédiée aux véhicules à deux roues motorisés. Les systèmes actifs d’assistance étant difficiles à mettre en œuvre, dès lors qu’il s’agit de perte de contrôle irréversible, nous nous intéressons dans ce papier aux seuls cas des systèmes de sécurité dit “préventifs”. Ce type de système intervient suffisamment en amont d’un danger pour éviter la situation conflictuelle. Le travail présenté dans ce papier s’inscrit dans ce cadre et il vise à concevoir une assistance au conducteur l’informant suffisamment à l’avance sur une vitesse excessive en virage prenant en compte les trois acteurs de conduite (Véhicule-Infrastructure-Conducteur). Ce modèle de vitesse, utilise les limites dynamiques de stabilité du véhicule pour limiter la vitesse longitudinale avant l’entrée en virage.

Keywords: : Aide à la conduite préventive, motocycle, dynamique limite, système d’alerte.

1. INTRODUCTION

L’étude des mécanismes d’accidents, ainsi que les statistiques de l’accidentologie des véhicules à deux roues motorisés (1; 2; 3), placent l’excès de vitesse comme premier facteur d’accident. Ainsi, selon l’ONISR (Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière) si tous les motocyclistes respectaient les limitations de vitesse et le taux légal d’alcoolémie, 50% des vies seraient sauvées. Or, des observations montrent que 15% des motocyclistes dépassent de 30 km/h les limitations contre moins de 1% des automobilistes. Ce facteur ne suffit souvent pas à expliquer à lui seul les accidents, et d’autres facteurs tels que l’inexpérience des capacités du véhicule et de la conduite, l’estimation de la vitesse des autres usagers entrent généralement en jeu.

En termes de sécurité préventive, et en plus des outils de formation à la conduite tels que les simulateurs de conduite (12; 13), une vitesse excessive favorise la survenue d’accidents, que ce soit du point de vue dynamique de l’interaction roue/sol ou du point de vue social de l’interaction avec les autres usagers de la route. En termes de sécurité protectrice, la vitesse au choc augmente considérablement la vulnérabilité du conducteur de DRM (Deux-Roues Motorisé). Les marges de progrès dans ce domaine, peuvent s’orienter vers le développement d’un système plus naturel qui prendra en compte, notamment les points noirs de l’infrastructure. Dans cette optique, les systèmes d’alerte sur une vitesse excessive à l’abord des virages s’avèrent utiles

Le présent papier est structuré comme suit : la section 2 donne un état de l’art des modèles existants de vitesse limite lors de la prise de virage. Une possible adaptation de ces derniers est discutée. Ensuite, un nouveau modèle de vitesse limite en courbe est synthétisé dans la section 3. Il tient compte des trois composantes, à savoir : le véhicule, le conducteur et l’infrastructure. L’influence des différents paramètres de la route (le dévers, la pente et l’adhérence disponible sur la route) ainsi que les paramètres mécaniques (centre de gravité, la masse, l’empattement), sur la vitesse critique en courbe est discutée (Sec. 6).

2. MODÈLES EXISTANTS DE VITESSES LIMITES EN VIRAGE

Dans cette partie, nous présentons un historique de l’évolution des modèles de vitesse limite en courbe dans l’ordre croissant de complexité.

2.1 Modèle simple

En négligeant tout autre paramètre que la courbure, la vitesse maximale à laquelle un véhicule peut aborder un virage de courbure ρ , est donnée par :

$$v_{x_{max}} = \sqrt{\frac{g \cdot \mu_{lat}}{\rho}} \quad (1)$$

D’un point de vue dynamique, pour un véhicule se déplaçant à vitesse constante v_x dans un virage de courbure ρ , d’angles de dévers et de pente nuls, l’adhérence latérale mobilisée diminue quand la courbure diminue. En considérant, dans ce cas simple, que la perte de contrôle du véhicule apparaît lorsque l’adhérence mobilisée μ_{mob}

*. H. Slimi, H. Arioui et S. Mammar sont chercheurs au laboratoire IBISC-EA 4526 de l’Université d’Evry Val d’Essonne, 91020 Evry Cedex, France. Hamid.Slimi@ibisc.univ-evry.fr.

devient supérieure à l'adhérence disponible μ_{max} , dans ce cas là, on peut écrire comme condition de sécurité :

$$\mu_{mob} \leq \mu_{max} \quad (2)$$

2.2 Adaptation du Modèle NHTSA aux DRM

Cette partie traite de la généralisation de la relation (1) au cas d'une route ayant des angles de pente et de dévers non nuls ainsi que l'apport du roulis.

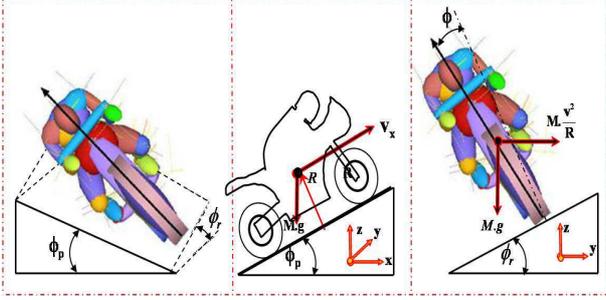


FIGURE 1. Pente, dévers et roulis

Les angles ϕ , ϕ_r et ϕ_p représentent respectivement les angles de roulis, de dévers et de la pente.

Si nous considérons que ϕ et ϕ_r sont nuls, par projection des équations d'équilibre sur les axes y et z nous obtenons :

$$\begin{cases} R \cdot \sin(\alpha + \phi_r) = M\rho v_x^2 \\ R \cdot \cos(\alpha + \phi_r) = Mg \end{cases} \quad (3)$$

où M est la masse du DRM. α définit l'angle à partir duquel il y a glissement, $\tan(\phi) = \mu_{lat}$ est appelé coefficient de friction statique (ou adhérence). Nous pouvons par la suite, introduire l'angle de roulis directement avec l'angle α .

Après quelques développements et en remplaçant $\tan(\alpha)$ par μ_{lat} , l'équation 3 devient :

$$v_{x_{max}} = \sqrt{\frac{g}{\rho} \cdot \frac{\tan(\phi_r) + \frac{\tan(\phi) + \mu_{lat}}{1 - \tan(\phi)\mu_{lat}}}{1 - \tan(\phi_r) \cdot \frac{\tan(\phi) + \mu_{lat}}{1 - \tan(\phi)\mu_{lat}}}} \quad (4)$$

En adoptant l'approximation linéaire de $\tan(\phi_r)$ par ϕ_r , on aboutit à l'équation suivante :

$$V_{x_{max}} = \sqrt{\frac{g}{\rho} \cdot \frac{\phi_r + \mu_{lat}}{1 - \phi_r \cdot \mu_{lat}}} \quad (5)$$

Cette formulation est recommandée par la NHTSA¹ (8) pour l'élaboration et le développement d'un système d'alerte de vitesse maximale $V_{x_{max}}$ à l'approche du sommet d'un virage. Ce modèle est plus fin et rend le système de sécurité plus pertinent, puisqu'il permet une définition plus précise de la route par rapport au premier modèle (Éq. 1), car le dévers de la route est pris en compte. En effet, ces angles peuvent jouer un rôle important dans l'absorption d'une partie de l'accélération latérale en courbe, lorsque la route est bien déversée.

De plus, l'équation 5 peut être généralisée aux véhicules subissant de grands angles de roulis (cas de la moto) en

introduisant l'angle de roulis (ϕ). Sous ces conditions, l'équation 5 s'écrit comme :

$$v_{x_{max}} = \sqrt{\frac{g}{\rho} \cdot \frac{\tan(\phi_r) + \frac{\tan(\phi) + \mu_{lat}}{1 - \tan(\phi)\mu_{lat}}}{1 - \tan(\phi_r) \cdot \frac{\tan(\phi) + \mu_{lat}}{1 - \tan(\phi)\mu_{lat}}}} \quad (6)$$

3. NOUVELLE APPROCHE

Dans la partie précédente, le dernier modèle de vitesse limite autorisée en courbe (Éq. 6) est plus précis que les deux précédents (Éq. 1 et 5). Par ailleurs, l'angle de roulis est également introduit, le motard devant se pencher suffisamment, en courbe, afin de contrer les forces centrifuges qui le projettent à la sortie du virage.

Cependant, dans le souci de fournir un système d'alerte plus pertinent au conducteur, rien ne doit être négligé et le système doit prendre en compte les trois acteurs de la sécurité routière, à savoir : le véhicule, l'infrastructure et le conducteur. Si l'infrastructure est bien présente dans les modèles précédents, nous pensons que ces derniers comptent de sérieux oublis. En effet, la dynamique du véhicule n'est pas entièrement prise en compte. Aussi, le comportement du conducteur est négligé, surtout dans sa manière de mobiliser l'adhérence et dans sa façon d'accélérer et de décélérer.

3.1 Hypothèses de travail

Pour des raisons de calcul, certaines hypothèses sont considérées :

Véhicule : est représenté uniquement par la dynamique intervenant dans le contexte de l'étude, à savoir les dynamiques latérale et longitudinale ainsi que le transfert de charge sur chaque pneu.

Route : l'étude prendra en compte uniquement la pente, le dévers et la courbure.

Conducteur : Il est modélisé uniquement par son modèle microscopique. Nous considérerons les quantités d'adhérences qu'il mobilisera en longitudinal et en latéral.

Ci-après, les détails de la démarche utilisée pour la synthèse de la vitesse de sécurité limite.

3.2 Modèle de véhicule

Les dynamiques prises en compte sont :

La dynamique latérale : est représentée par un système composé de trois équations (Éq. 7) décrivant le mouvement latéral causé essentiellement par l'effet des forces latérales des pneumatiques avant et arrière (F_{yf} et F_{yr}), les mouvements de lacet et de roulis (6; 9; 10).

$$\begin{cases} Ma_y + Mv_x\dot{\psi} + Mh\ddot{\phi} = F_{yf} + F_{yr} - Mg \sin \phi_r \\ I_{zz}\dot{\psi} = L_f F_{yf} - L_r F_{yr} \\ I_{xx}\ddot{\phi} = Mgh - (F_{yf} + F_{yr})h \end{cases} \quad (7)$$

Avec L_f (resp. L_r) est la distance entre le centre de gravité G et le centre de la roue avant (resp. arrière) et h dénote,

1. National Highway Traffic Safety Administration.

la hauteur du centre de gravité (Fig. 2). M étant la masse totale du véhicule et (I_{xx}, I_{zz}) sont respectivement les moments d'inertie de roulis et de lacet.

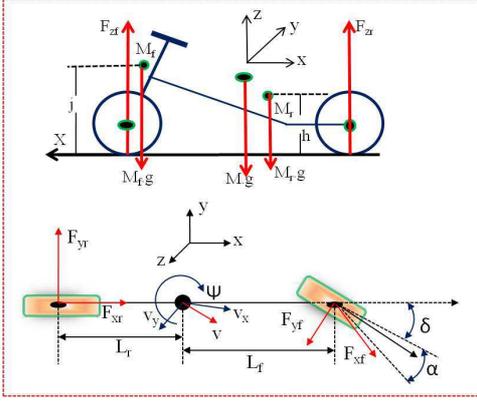


FIGURE 2. Paramètres inertiels du véhicule

Dynamique longitudinale : représente le comportement de la moto lors des manœuvres de freinage et d'accélération, elle est donnée par :

$$Ma_x = F_{mot} + Mg \sin(\phi_p) \quad (8)$$

où F_{mot} est la force induite par l'accélération/décélération longitudinale désirée.

La dynamique verticale et transfert de charge : exprimés par les forces normales sur chacune des deux roues et le transfert de charge qui s'opère lors des manœuvres d'accélération et de freinage (6; 7) :

$$\begin{cases} F_{zf} = \left(\frac{M_f + M_r}{L_f + L_r} \right) (L_r g \cos \phi_p \cos \phi_r - h F_{mot}) \\ F_{zr} = \left(\frac{M_f + M_r}{L_f + L_r} \right) (L_f g \cos \phi_p \cos \phi_r + h F_{mot}) \end{cases} \quad (9)$$

En adoptant les approximations suivantes pour l'angle de roulis, l'accélération longitudinale et la vitesse de lacet :

$$\begin{cases} \phi = \tan^{-1} \left(\frac{\rho v_x^2}{g} \right) \\ a_y = \frac{\rho v_x^2}{g} \\ \dot{\psi} = \rho v_x \end{cases} \quad (10)$$

Nous pouvons ré-écrire les dynamiques précédentes comme suit :

$$\begin{cases} F_{yf} = \frac{\frac{\rho v_x^2}{g} \cdot L_r M (g + Mg + \frac{Mh^2 g}{I_{xx}}) + L_r Mg \sin \phi_r}{(L_f + L_r) \cdot (1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})} + \dots \\ \frac{I_{zz}}{L_f + L_r} \ddot{\psi} \\ F_{yr} = \frac{\frac{\rho v_x^2}{g} \cdot L_f M (g + Mg + \frac{Mh^2 g}{I_{xx}}) + L_f Mg \sin \phi_r}{(L_f + L_r) \cdot (1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})} + \dots \\ \frac{(1 - L_f - L_r) I_{zz} \ddot{\psi}}{L_r \cdot (L_f + L_r)} \end{cases} \quad (11)$$

$$F_{mot} = Ma_x - Mg \sin \phi_p \quad (12)$$

3.3 Modélisation de l'interface pneumatique/chaussée

Le pneumatique est l'un des composants principaux du véhicule en général et d'un deux-roues en particulier. Il

transmet les efforts de direction et de freinage/traction. Le comportement dynamique du pneumatique est très complexe, et est linéaire uniquement dans certaines conditions restreintes d'opération.

Dans cette étude, nous modélisons l'interface du contact pneu/sol, et nous calculons les adhérences mobilisées en longitudinal et en latéral sur chaque pneumatique. Nous utiliserons le modèle de frottement de Coulomb pour obtenir l'adhérence mobilisée μ_{mob} (Fig. 3). Ainsi, la force transversale F_t et la force normale F_z sont telles que :

$$\mu_{mob} = \frac{F_t}{F_z} \leq \mu_{max} \quad (13)$$

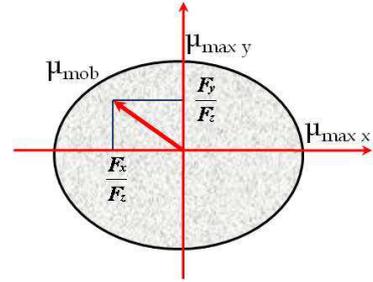


FIGURE 3. Ellipse de friction

où μ_{max} représente l'adhérence maximale disponible sur la route.

Nous avons également :

$$F_t^2 = F_x^2 + F_y^2 \quad (14)$$

On aura donc :

$$\begin{cases} \mu_{xi} = \frac{F_{xi}}{F_{zi}} \\ \mu_{yi} = \frac{F_{yi}}{F_{zi}} \\ \mu_{max} = \max \left(\sqrt{\mu_{xi}^2 + \mu_{yi}^2} \right) \end{cases} \quad (15)$$

où i est l'indice relatif à la roue (avant ou arrière). Etant donné l'équation 13 et le système d'équation 15, on peut calculer l'adhérence mobilisée sur chaque roue dans chacune des directions longitudinale et latérale :

$$\begin{cases} \mu_{yf} = \frac{F_{yff}}{F_{zff}} \\ = \frac{\frac{\rho v_x^2}{g} L_r M \cdot (g + Mg + \frac{Mh^2 g}{I_{xx}}) + L_r Mg \sin \phi_r}{(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})(L_r Mg \cos \phi_p - h F_{mot})} + \dots \\ \frac{(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}}) I_{zz} \ddot{\psi}}{(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})(L_r Mg \cos \phi_p - h F_{mot})} \\ \mu_{yr} = \frac{F_{yrf}}{F_{zrf}} \\ = \frac{\frac{\rho v_x^2}{g} L_r L_f M \cdot (g + Mg + \frac{Mh^2 g}{I_{xx}}) + L_r L_f Mg \sin \phi_r}{L_r (1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})(L_f Mg \cos \phi_p + h F_{mot})} + \dots \\ \frac{(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})(1 - L_f - L_r) I_{zz} \ddot{\psi}}{L_r (1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}})(L_f Mg \cos \phi_p + h F_{mot})} \\ \mu_{xf} = \frac{F_{xff}}{F_{zff}} = \frac{a_x}{g} - \sin \phi_p \\ \mu_{xr} = \frac{F_{xrf}}{F_{zrf}} = \frac{a_x}{g} - \sin \phi_p \end{cases} \quad (16)$$

Dans le domaine de vitesses que nous considérons, et compte tenu des grandeurs des paramètres, nous pouvons faire les approximations suivantes $\frac{(1-L_f-L_r)I_{zz}\ddot{\psi}}{L_f L_r M g} \approx 0$ et $\frac{I_{zz}\ddot{\psi}}{L_r M g} \approx 0$, le système d'équation 16 devient, alors :

$$\begin{cases} \mu_{yf} = \frac{\frac{\rho v_x^2}{g} \cdot (1 + M + \frac{Mh^2}{I_{xx}}) + \sin \phi_r}{(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}}) \cdot (\cos \phi_p - \frac{hF_{mot}}{L_r M g})} \\ \mu_{yr} = \frac{\frac{\rho v_x^2}{g} \cdot (1 + M + \frac{Mh^2}{I_{xx}}) + \sin \phi_r}{(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}}) \cdot (\cos \phi_p + \frac{hF_{mot}}{L_f M g})} \\ \mu_{xf} = \frac{a_x}{g} - \sin \phi_p \\ \mu_{xr} = \frac{a_x}{g} - \sin \phi_p \end{cases} \quad (17)$$

3.4 Comportement du Conducteur

Pendant la phase de conduite, le conducteur est constamment obligé de corriger sa trajectoire, d'assurer l'équilibre et la stabilité du véhicule en définissant une vitesse appropriée à la situation de conduite. La prise en compte du comportement du conducteur, permet de développer des systèmes d'aide à la conduite plus pertinents.

Nous avons décidé de prendre en compte, les niveaux d'accélération du conducteur dans le calcul de la vitesse critique en virages. Cela veut dire qu'en réalité, le conducteur ne mobilise pas les mêmes niveaux d'accélération en latéral qu'en longitudinal, et pour cela nous distinguons les quantités d'adhérence mobilisées par le conducteur en longitudinal et en latéral, en notant μ_{ymax} et μ_{xmax} , les adhérences maximales mobilisées, respectivement, en latéral et en longitudinal (4).

$$1 = \max \left(\sqrt{\left(\frac{\mu_{yi}}{\mu_{ymax}} \right)^2 + \left(\frac{\mu_{xi}}{\mu_{xmax}} \right)^2} \right) \quad (18)$$

avec $i = f, r$.

Pour des raisons de confort et de sécurité, et sous de bonnes conditions d'adhérence, le conducteur ne va mobiliser qu'une partie de toute l'adhérence disponible en longitudinal et en latéral (5). Le comportement du conducteur est représenté au travers de deux coefficients adimensionnels, λ_y et λ_x .

$$\begin{cases} \mu_{ymax} = \lambda_y \cdot \mu_{max} \\ \mu_{xmax} = \lambda_x \cdot \mu_{max} \end{cases} \quad (19)$$

Nous considérons que le comportement du conducteur est inversement proportionnel à μ_{max} .

$$\begin{cases} \lambda_x = \Delta \lambda_x \mu_{max} - \lambda_{slip-x} \\ \lambda_y = \Delta \lambda_y \mu_{max} - \lambda_{slip-y} \end{cases} \quad (20)$$

Avec :

$$\begin{cases} \Delta \lambda_x = \lambda_{dry-x} - \lambda_{slip-x} \\ \Delta \lambda_y = \lambda_{dry-y} - \lambda_{slip-y} \end{cases} \quad (21)$$

Où, λ_{dry} (resp. λ_{slip}) représente l'adhérence maximale que peut mobiliser le conducteur sur chaussée sèche (resp. chaussée glissante).

La vitesse du système pilote-moto est considérée constante dans la partie circulaire de la route, cela veut dire que l'accélération longitudinale à l'entrée du virage est nulle. Etant donnée l'approximation de l'accélération longitudinale suivante :

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = v_x \frac{dv_x}{ds}$$

Ainsi, $\frac{dv_x}{ds} = 0$, durant les parties circulaires du virage.

Tous calculs fait, nous obtenons :

$$\begin{cases} v_{max1}^2 = \left(\frac{g}{\rho \left(1 + M + \frac{Mh^2}{I_{xx}} \right)} \right) \left(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}} \right) \dots \\ \left(1 - \frac{h}{L_f} \sin \phi_p \right) \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \phi_p}{\lambda_x \mu_{max}} \right)^2} \lambda_y \mu_{max} - \sin \phi_r \\ v_{max2}^2 = \left(\frac{g}{\rho \left(1 + M + \frac{Mh^2}{I_{xx}} \right)} \right) \left(1 + \frac{Mh^2}{I_{xx}} \right) \dots \\ \left(1 + \frac{h}{L_f} \sin \phi_p \right) \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \phi_p}{\lambda_x \mu_{max}} \right)^2} \lambda_y \mu_{max} - \sin \phi_r \end{cases} \quad (22)$$

4. PROFIL DE VITESSE LIMITE SUR UN SCÉNARIO

La figure 4 montre le profil de vitesse calculé par l'équation 22 sur une section de route donnée. Celle-ci alterne lignes droites et virages avec une courbure de la forme de la figure 4. La pente est supposée nulle par ailleurs, le dévers est pris en compte et est visible sur cette même figure. Aussi, les deux coefficients adimensionnels représentant le comportement du conducteur, sont fixés à 0.5 ($\lambda_x = \lambda_y = 0.5$).

Nous allons étudier à présent l'influence des différents paramètres sur le profil de la vitesse maximale calculée par l'équation 22.

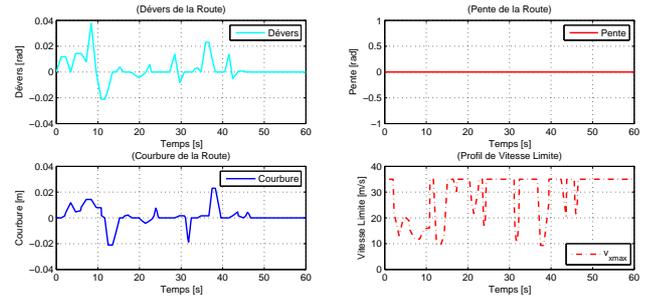


FIGURE 4. Profil de vitesse limite

5. COMPARAISON DU MODÈLE DÉVELOPPÉ AVEC LES MODÈLES EXISTANTS

La figure 5 illustre les vitesses du nouveau modèle développé ainsi que celles du modèle simple et de NHTSA. On peut observer que la différence est significative. Elle atteint parfois 17 m/s environ (Fig. 5). Comparé aux deux autres, le modèle développé est très restrictif et il tient compte davantage de paramètres.

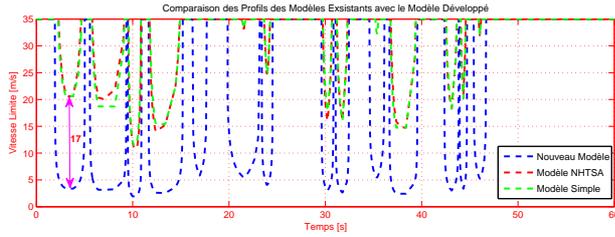


FIGURE 5. Profil de vitesse limite des trois modèles

6. INFLUENCE DES PARAMÈTRES

6.1 Influence de l'adhérence

L'adhérence est un paramètre qui joue un rôle important dans la synthèse de la vitesse limite. Afin d'illustrer son importance, trois profils de vitesses limites ont été calculés pour trois adhérences différentes, la plus faible vaut 0.4 alors que la plus élevée vaut 0.8. Les résultats sont visibles sur la figure 6. On peut remarquer l'augmentation de la vitesse maximale en courbe avec l'augmentation de l'adhérence maximale. A noter que le passage d'une adhérence ($\mu_{max} = 0.6$) à une adhérence ($\mu_{max} = 0.8$) est suivi d'une augmentation significative de la vitesse limite autorisée. C'est beaucoup moins le cas lorsqu'on passe d'une adhérence ($\mu_{max} = 0.4$) à ($\mu_{max} = 0.6$). En effet, d'après l'équation 22, la vitesse critique est fonction de la racine carrée de l'adhérence maximale (μ_{max}).

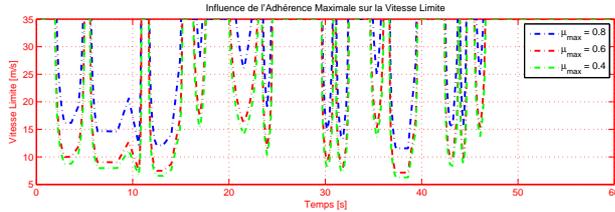


FIGURE 6. Influence de l'adhérence sur la vitesse limite

6.2 Influence du transfert de charge

La décélération longitudinale est plus faible quand le transfert de charge est pris en compte. Cet effet a son importance, particulièrement, lorsque l'adhérence maximale est faible ou lorsque λ_x est important. Ainsi, dans l'équation 22, les termes : $(1 - \frac{h}{L_f} \sin \phi_p)$ et $(1 + \frac{h}{L_f} \sin \phi_p)$, illustrent l'impact du transfert de charge et son implication sur la limitation de l'adhérence mobilisée en latéral.

6.3 Influence de la pente

Lors de la prise de virage sur une route présentant une pente, le conducteur doit freiner ou accélérer son véhicule (selon le signe de la pente) pour garder une vitesse longitudinale constante. Ces deux actions (freinage ou accélération) lui permettent de mobiliser une quantité d'adhérence maximale disponible (μ_{max}) sur la route. Étant données ces conditions, la vitesse maximale autorisée en virage sur une route montante ou descendante est toujours inférieure à celle calculée sur une route plane (pente nulle) (Fig. 7).

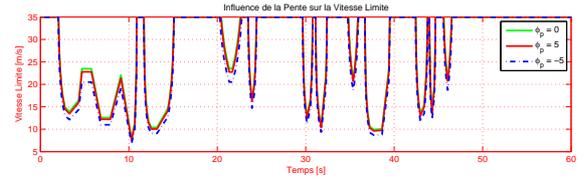


FIGURE 7. Influence de la pente sur la vitesse limite

6.4 Influence du dévers

Sur la figure 8 sont représentés trois profils de vitesses limites dans les mêmes conditions de simulation pour trois dévers différents. Deux sont égaux en valeur absolue mais avec des signes opposés ($\phi_{r1} = -\phi_{r2}$) et le troisième cas est relatif à un dévers nul. On peut remarquer que la vitesse limite augmente dans le sens inverse de l'augmentation du dévers. Il est à noter, que la vitesse limite est sensible à la variation du dévers. En effet, malgré les faibles valeurs atteintes par l'angle du dévers (une dizaine de degrés au maximum), il convient de signaler son importance, car cette faible différence peut provoquer des instabilités qui, elles peuvent prendre des amplitudes importantes.

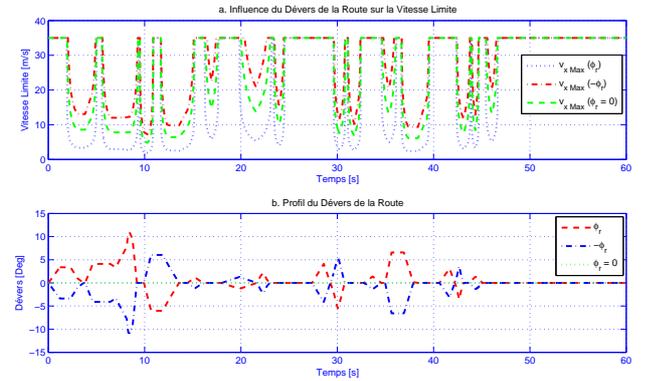


FIGURE 8. Influence du dévers de la route sur la vitesse limite

6.5 Influence des paramètres du véhicule

Il s'agit des paramètres mécaniques propres à chaque véhicule à deux roues (hauteur du centre de gravité (h), moment d'inertie de roulis (I_{xx}), masse (M) et empattement (L_f , L_r)). Pour illustrer l'influence de tous ces paramètres, on calculera différents profils de vitesse limite pour 3 véhicules présentant des paramètres différents et le scooter du laboratoire.

Le résultat en termes de vitesse limite est représenté sur la figure 9. On peut observer la différence de vitesse maximale autorisée en courbe des trois motos (Moto 1, Moto 2, Moto 3) ainsi que celle du scooter du laboratoire IBISC.

On peut énoncer quelques interprétations physiques par rapport aux profils de vitesse observés. En effet, une des caractéristiques de la moto est l'empattement. Ce dernier joue un rôle stabilisant. C'est le cas de la Moto 2 qui est caractérisée par un plus grand empattement ($L = L_f + L_r = 1.4431$ m) par rapport aux trois autres véhicules représentés.

Inversement, plus l'empattement sera court, moins la moto sera stable (tiendra son cap en ligne droite), mais plus le

contrôle latéral sera facile (vivacité en virage). Ce cas de figure est représenté par le Scooter ou encore par la Moto 3.

L'autre paramètre ayant un impact sur la vitesse limite, est la position du centre de gravité (valeur de h). Les véhicules à deux roues caractérisés par un centre de gravité haut sont moins stables en ligne droite mais facilement contrôlable latéralement (en virage) notamment par augmentation de l'angle de roulis, pour contrer la force centrifuge. Pour illustrer ce propos, on peut observer sur les courbes de vitesses des Moto 1 et Moto 2 qui ont des propriétés assez similaires en empattement ($L = 1.4354$ m pour la Moto 1 contre $L = 1.4421$ m pour la Moto 2) et relativement différentes en masse et de position de centre de gravité ($h = 0.605$ m, $M = 217$ kg pour la Moto 1 et $h = 0.6756$ m, $M = 285$ kg pour la Moto 2).

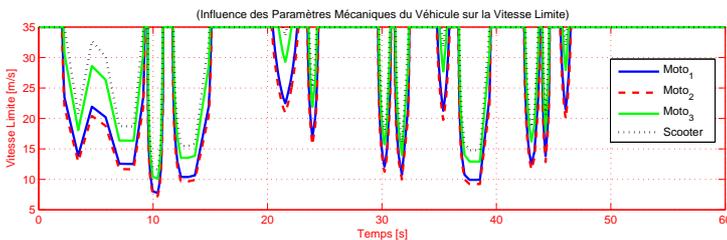


FIGURE 9. Influence des paramètres mécaniques du véhicule

7. CONCLUSION

Ce papier a été dédié au développement d'un système d'aide à la conduite qui s'inscrit dans le cadre des aides préventives.

Après avoir passé en revue les modèles de vitesse en virage existants, nous avons développé un nouveau modèle de vitesse critique en courbe prenant en compte à la fois les trois acteurs participants à l'exercice de conduite. Ainsi, un modèle de véhicule à deux roues représenté par toutes les dynamiques sollicitées lors de la prise de virage (roulis, lacet, translation latérale et longitudinale) a été considéré. Le conducteur est modélisé par ses niveaux d'accélération en latéral et en longitudinal en considérant la quantité d'adhérence qui s'autorise à mobiliser. Par ailleurs, la route est présente dans le modèle développé, par sa géométrie (courbure, pente et dévers) et son adhérence maximale.

L'interface pneumatique/chaussée a été modélisée en utilisant le modèle de frottement de Coulomb. Par la suite, le modèle de vitesse limite a été calculé en suivant une méthodologie basée sur l'adhérence mobilisée au niveaux des pneumatiques.

L'influence des paramètres du véhicule, du conducteur et de la route a été montrée, discutée et illustrée par quelques résultats de simulation.

Le travail présenté dans cet article sera inclus dans une unité d'alerte qui sera munie d'une interface adéquate.

RÉFÉRENCES

[1] ONISR. Les grandes données de l'accidentologie 2010, caractéristiques et causes des accidents de la route, 2010.

[2] Amans, B., Moutreuil, M. Projet RIDER. Recherche sur les accidents Impliquant un Deux Roues motorisé, rapport final n° RIDER200503-10, 2005.

[3] Hurt, H.H. Ouellet, J.V. Thom D.R. Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures. Final report. DOT-HS-F601160, 1981.

[4] S. Glaser, Modélisation et analyse d'un véhicule en trajectoire limites Application au développement de systèmes d'aide à la conduite. Thèse, Université d'Evry Val d'Essonne, France, 2004.

[5] TranSafety. Canadian Researchers Test Driver Response to Horizontal Curves. Road Management Engineering Journal, September, 1998.

[6] H. Slimi, H. Arioui, L. Nouveliere and S. Mammam, "Advanced Motorcycle-Infrastructure-Driver Roll Angle Profile for Loss Control Prevention", 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems., St. Louis, Missouri, U.S.A., October 3-7, 2009.

[7] H. Slimi, H. Arioui, L. Nouveliere and S. Mammam, "Motorcycle Speed Profile in Cornering Situation", American Control Conference (ACC), Baltimore, Maryland, USA, June 30 - July 2, 2010.

[8] D. Pomerleau, T. Jochem, C. Thorpe, P. Batavia, D. Pape, J. Hadden and N. McMillan and N. Brown, and J. Everson. Run-off-road collision avoidance using ivhs countermeasures. Technical Report DOT HS 809 170, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 1999.

[9] R.S. Sharp. The stability and control of motorcycles. Journal of Mechanical Engineering Science, 1971.

[10] R.S. Sharp. The influence of frame flexibility on the lateral stability of motorcycles. Journal of Mechanical Engineering Science, 1974.

[11] R.S. Sharp. The influence of suspension system on motorcycle weave-mode oscillations. Vehicle System Dynamics, 5, 1976a.

[12] H. Arioui, L. Nehaoua, S. Hima, N. Séguy and S. Espié, "Mechatronics, design and modeling of a motorcycle riding simulator", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 2010*, vol. 15(5), pp 805-818.

[13] L. Nehaoua, S. Hima, H. Arioui, N. Séguy and S. Espié, "Design and modeling of a new motorcycle riding simulator". in *Proceedings of the 2007 American Control Conference*, pp 176-181, New York, USA, 2007.