



Amélioration de la qualité des quantificateurs reliés aux performances du conducteur pour la détermination de l'hypovigilance au volant

Tristan Bonargent, Eric Pigeon, Nicolas Bessot, Mathieu Pouliquen, Olivier Gehan, Tomas Menard, Damien Davenne, Miloud Frikel

► To cite this version:

Tristan Bonargent, Eric Pigeon, Nicolas Bessot, Mathieu Pouliquen, Olivier Gehan, et al.. Amélioration de la qualité des quantificateurs reliés aux performances du conducteur pour la détermination de l'hypovigilance au volant. ICSAT'2018 International Conference on signals, Automatic and Telecommunications, May 2018, Beni Mellal, Maroc. hal-01838310

HAL Id: hal-01838310

<https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/hal-01838310>

Submitted on 13 Jul 2018

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.

Amélioration de la qualité des quantificateurs reliés aux performances du conducteur pour la détermination de l'hypovigilance au volant

Tristan BONARGENT^{*†}, Eric PIGEON[†], Nicolas BESSOT[‡], Mathieu POULIQUEN[†],
Olivier GEHAN[†], Tomas MENARD[§], Damien DAVENNE[‡], Miloud FRIKEL[†]

[†] Normandie Univ, UNICAEN, ENSICAEN, LAC, 14000 Caen, France

[‡] Normandie Univ, UNICAEN, INSERM, COMETE, 14000 Caen, France

[§] Mechatronics Department, University of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

* Auteur correspondant, e-mail : tristan.bonargent@unicaen.fr

Résumé—L'objectif de cette étude est de proposer un algorithme permettant d'améliorer la qualité de certains quantificateurs issus de grandeurs physiques descriptives des performances du conducteur. Cet algorithme a été appliqué sur un simulateur de conduite donnant les mesures de l'angle du volant et la position latérale de la voiture par rapport à la route.

Mots clés— Hypovigilance, position latérale, angle du volant, écart type, lanex, RSWM, TLC

I. INTRODUCTION

Le rapport de l'association des sociétés françaises d'auto-roues montre que la somnolence (23,6% des cas en 2015) et l'inattention (16,9% des cas en 2015) sont les causes principales d'accidents mortelles sur la route [1]. Ces pourcentages montrent l'intérêt qui devrait être porté à la somnolence des conducteurs. La somnolence est «l'état intermédiaire entre l'éveil et le sommeil» [2], qui se traduit par «une réduction progressive de l'attention» [3]. Cette inattention implique que les accidents de somnolence sont parmi les plus graves, puisque les conducteurs ne font habituellement aucune tentative pour freiner ou éviter la collision. Les origines de la somnolence peuvent être diverses. Les principaux facteurs sont la fatigue, une trop longue période de conduite, un taux d'alcoolémie élevé et l'utilisation de produits psychoactifs. Le Conseil européen pour la sécurité des transports (CTSE) divise la fatigue du conducteur en quatre niveaux [4] :

- a) Complètement éveillé
- b) Somnolence modérée
- c) Somnolence grave
- d) Endormi

Lors d'un long trajet en voiture, le niveau de fatigue augmente progressivement jusqu'à ce que le conducteur ne puisse plus assurer les tâches de conduite, ceci si aucune pause n'a été prise. Lorsque la somnolence commence à intervenir, le conducteur commence à prendre ses forces pour rester éveillé. Son niveau de fatigue passe à b) puis à c). Lorsqu'il ne peut

plus résister, il commence à dormir et passe à l'étape finale de fatigue et se retrouve dans le pire des cas dans un accident.

Une solution pour prévenir les collisions dues à la somnolence est le développement de systèmes capables de surveiller la vigilance des conducteurs en temps réel et capables de les avertir avant l'apparition de la somnolence. Un certain nombre d'études ont tenté d'identifier les indicateurs clés qui reflètent le mieux la somnolence [5], [6]. Parmi les indicateurs comportementaux, l'écart-type de la position latérale (SDLP) du véhicule semble très sensible à la somnolence [7]. Mais d'autres indicateurs basés sur la position du véhicule sur la route ou l'angle du volant ont été proposés [8]. Un suivi en temps réel du niveau de somnolence empêchera le conducteur de s'endormir et éventuellement d'éviter un cas d'accident de voiture. Diverses études ont été publiées afin de permettre ce suivi en temps réel. [9] utilise une analyse de la variance de la position latérale, de l'angle de braquage et de l'erreur de trajectoire pour déterminer un niveau de somnolence. L'algorithme de fusion de données utilisé est un réseau neuronal artificiel (ANN). [10] utilise un Modèle de Markov caché (HMM) à partir des données de l'angle du volant et de la trajectoire pour estimer si le conducteur est en état d'alerte ou non. Les solutions proposées dans [11]–[15] utilisent aussi ces données, entre autres, en utilisant divers outils de classification ou d'analyse. Toutes ces études ne prennent pas en compte un facteur important qui intervient pendant une conduite : la sinuosité de la route et le changement de route. En effet, il est très difficile de les prendre en compte lors des simulations et encore plus en temps-réel. Leurs effets peuvent être importants et les grandeurs physiques mesurées sont perturbées, ce phénomène peut entraîner des erreurs dans la détermination du niveau de vigilance.

Le but de cette étude est d'utiliser la position du véhicule et l'angle du volant avec une approche qui prend en compte la localisation du véhicule, ceci afin d'éliminer les perturbations dues à un changement de route. La section II va dans un premier temps décrire les différents quantificateurs pouvant être

calculés à partir des grandeurs à dispositions avant de détailler l’algorithme permettant de détecter les changements de route. Ensuite, la section III va mettre en évidence l’amélioration que va procurer la mise en œuvre de l’algorithme à travers une simulation. Pour finir, la section IV présentera la conclusion.

II. MÉTHODOLOGIE

L’objectif de la présente étude est de proposer une méthodologie permettant d’estimer de façon optimale des indicateurs reliés à l’hypovigilance du conducteur. Les quantificateurs estimés seront basés sur la position du véhicule relativement à la route et sur les mesures relatives à l’angle du volant.

A. Présentation des quantificateurs de trajectoire

Il existe un ensemble de quantificateurs permettant de mesurer le comportement d’un conducteur en fonction des paramètres de la trajectoire du véhicule [16]. La majorité de ces quantificateurs sont issus de l’analyse de la position du véhicule sur la route. Si l’on note x_i le $i^{\text{ème}}$ échantillon de la position latérale du véhicule sur la route et n le nombre total d’échantillon utilisé pour calculer les quantificateurs, on peut lister les six quantificateurs suivants.

1) L’écart type de la position latérale

L’écart type de la position latérale est peut être le quantificateur le plus couramment utilisé pour étudier l’état d’hypovigilance des conducteurs (voir [17]–[22]). Son expression est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

ou \bar{x} est la position moyenne de la série temporelle.

2) L’écart quadratique moyen

Ce quantificateur a la même expression que l’écart type (1) mais on remplace la position latérale moyenne par un paramètre p déterminé de manière à ce que $x_i - p$ soit égal à 0 quand le véhicule est situé au centre de son couloir de circulation. La détermination de p est souvent réalisée lors d’un parcours test en simulation, dans ce cas, il est considéré comme constant ce qui peut introduire un biais lors du calcul. Une phase d’optimisation ([9], [16]) peut être faite a posteriori afin de diminuer cette erreur, malheureusement l’optimisation est basée sur la minimisation du nombre de mauvaises décisions. A notre connaissance il n’existe pas de cas où l’on ait calculé la largeur des routes afin d’introduire un paramètre p_i dépendant de cette largeur.

3) Le Lanex

Le lanex (Lane Exist) mesure le nombre de fois que le conducteur sort d’une bande de circulation [19]. Son expression est

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n \theta(x_i)}{n} \quad (2)$$

avec

$$\theta(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } |x_i| > x_L \\ 1, & \text{si } |x_i| < x_R \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (3)$$

avec x_L et x_R les positions latérales définissant les positions des valeurs limites gauche et droite de la bande de circulation. Ces valeurs limites sont des paramètres de synthèse et sont en règle général définis a priori. Malheureusement, on sait que ces valeurs dépendent de la largeur de la route et donc sont susceptibles de changer avec le déplacement du véhicule.

4) Le TLC

Le TLC (Time to Line Crossing) (voir [19], [23]) est la durée que le conducteur met pour sortir de la bande de circulation définie précédemment. Son calcul est assez délicat avec l’expression la plus utilisée car elle nécessite la détermination de la dérivé de la position latérale. Si cela peut être fait sur des données issues d’un simulateur, il est plus difficile de l’obtenir sur un véhicule. Dans ce cas, on doit avoir recours à une centrale inertielle de très bonne qualité afin de ne pas être trop sensible aux bruits de mesure présents sur les capteurs de ces systèmes.

$$TLC = \begin{cases} d_L/\dot{x}, & \text{si } \dot{x} > 0 \\ d_R/\dot{x}, & \text{si } \dot{x} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

où $d_L = p_L - x_i$ et $d_R = p_R - x_i$ sont les distances (négatives) reliant le bord gauche (resp droit) de la bande de circulation au bord avant de roue gauche (resp droit) du véhicule. p_L et p_R sont des distances négatives définies par l’utilisateur. A noter qu’elles sont constantes et que la taille de la route ou la sinuosité de la route ne sont pas prises en compte pour les déterminer. Avec les valeurs (négatives) de p_L et p_R , $d_L = p_L - x_i$ est positive et $d_R = p_R - x_i$ est négative lorsque le véhicule est dans la bande de circulation. Afin d’éviter une indétermination lorsque $\dot{x} = 0$, une fonction saturation est appliquée sur la valeur du TLC afin de limiter sa valeur maximale à TLC_{max} . Comme cette mesure ne tient pas compte des caractéristiques de la route influençant le comportement du conducteur, certains auteurs ont proposé de calculer le TLC en utilisant plusieurs variantes ([23]–[25]). Il en ressort que l’évolution du minimum du TLC sur une fenêtre temporelle est un indicateur reflétant assez bien l’état d’hypovigilance d’un conducteur.

5) L’écart type de l’angle du volant

En fonction des capteurs disponibles, il est possible d’analyser les mouvements du volant afin de détecter l’hypovigilance [9]. Le gros avantage de cette mesure est la simplicité avec laquelle elle peut être utilisée. En effet, un simple calcul de variance suffit à indiquer l’entrée dans un état d’hypovigilance. Cette mesure disponible sur les simulateurs de conduite ne l’est malheureusement pas sur les automobiles. Il est nécessaire d’ajouter un équipement supplémentaire sur la colonne de direction

pour l’obtenir, ce qui limite son utilisation. A noter que le rayon de courbure de la route n’est pas pris en compte dans les analyses de la littérature or ces variations peuvent venir fausser cette analyse.

6) Le RSWM

Une autre mesure basée sur l’angle du volant et la vitesse de variation de cet angle. Il est aussi directement relié à l’état du conducteur.

$$RSWM = \frac{\sum_{i=2}^n h(\dot{s}_i)}{n-1} \quad (5)$$

avec

$$h(\dot{s}_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } |\dot{s}_i| > d \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (6)$$

où d est un seuil fixé par l’utilisateur (voir [24], [26], [27]).

B. Détermination des changements de routes

L’angle du volant et la position de la voiture sur la route sont des mesures courantes permettant d’estimer un niveau d’hypovigilance ([28], [29]). Ces grandeurs peuvent être facilement perturbées tout au long d’un trajet routier. Elles peuvent notamment être parasitées lors d’un changement de route dû aux changements de direction.

De ce fait, un algorithme permettant de rapatrier les données des routes présentes autour du conducteur a été mis en œuvre. Il prend en compte les données issues du GPS du smartphone pour localiser la voiture. Cette localisation est ensuite comparée aux données issues de la cartographie Openstreetmap ([30]) afin de déterminer la route empruntée par le conducteur.

L’algorithme prend en entrée la géolocalisation donnée par le capteur GPS. Il va chercher dans le périmètre autour de la voiture, à l’aide de l’API d’Openstreetmap, toutes les informations concernant les routes. Les données utiles reçues sont des nœuds et des routes. Chaque nœud comporte un identifiant et une géolocalisation. Les routes sont des regroupements de nœuds. L’algorithme, dans un premier temps, trie toutes ces informations pour reconstruire les routes géolocalisées.

Une fois ce triage fait, l’algorithme détermine alors la route la plus proche. Pour cela, il sélectionne la portion de route qui minimise la distance avec le conducteur. Il peut se trouver que l’algorithme détecte un changement de route lorsqu’en réalité le conducteur passe à côté d’une intersection. Pour cela, l’algorithme ne prend pas en compte ce changement s’il s’avère que les prochaines données montrent qu’il est resté sur la même route.

Une fois que les données de route sont connues, l’algorithme peut savoir lorsqu’il y a un changement de route afin d’en limiter les conséquences lors de l’estimation du niveau d’hypovigilance. La figure 1 montre sur un trajet les différents changements de route détectés par l’algorithme.

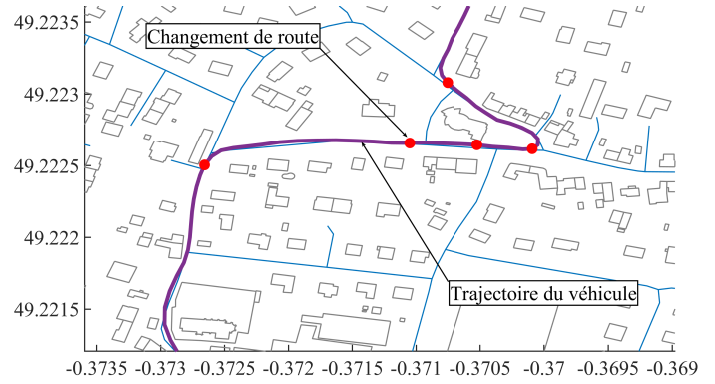


FIGURE 1. Carte

C. Traitement des données de l’angle du volant et de la position

Lors d’un changement de route, les grandeurs acquises portant sur les performances du conducteur sont perturbées. Il peut y avoir des sauts de position et des variations brusques d’angle du volant. Afin d’éliminer ces perturbations, les mesures d’angle et de positions vont être gelées pendant un certain temps. Cet intervalle doit être choisi judicieusement afin d’éliminer ces phénomènes tout en ne supprimant pas d’informations utiles. Pour cette étude, l’intervalle a été choisi à 50 secondes.

III. RÉSULTATS

Les quantificateurs définis dans la section précédente vont être mis en œuvre à partir de données issues d’un simulateur. L’enjeu va être de déterminer l’influence des perturbations issues des changements de route sur ces grandeurs.

A. Simulateur

Des essais ont été réalisés sur un simulateur de conduite représentant l’environnement qu’un conducteur aurait en situation réelle. Le conducteur est placé sur une autoroute ne comportant pas de trafic afin d’augmenter l’hypovigilance. Ce simulateur permet d’acquérir les données de l’angle du volant et de la position véhicule. La position relative du véhicule par rapport à la route est ensuite calculée en prenant en compte la structure de la route.

Une simulation a une durée de 7 heures environ. Pendant son trajet, le conducteur est amené à changer de route toutes les 50 minutes. Il peut être observé les mesures avec et sans la prise en compte des changements de route sur les figures 2 et 3. Les mesures sont ici gelées pendant 50 secondes correspondant à 25 secondes avant et 25 secondes après l’événement.

Ces deux figures mettent en évidence l’effet des changements de routes. Des impulsions sur l’angle de volant et des dérives sur la position sont introduites dans les signaux. La prochaine sous-section va mettre en évidence l’impact de ces phénomènes sur la qualité des quantificateurs induits des mesures.

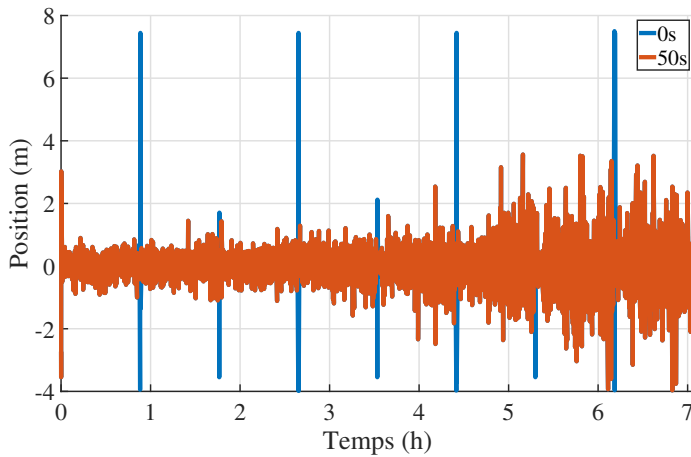


FIGURE 2. Évolution de la position de la voiture relative à la route : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

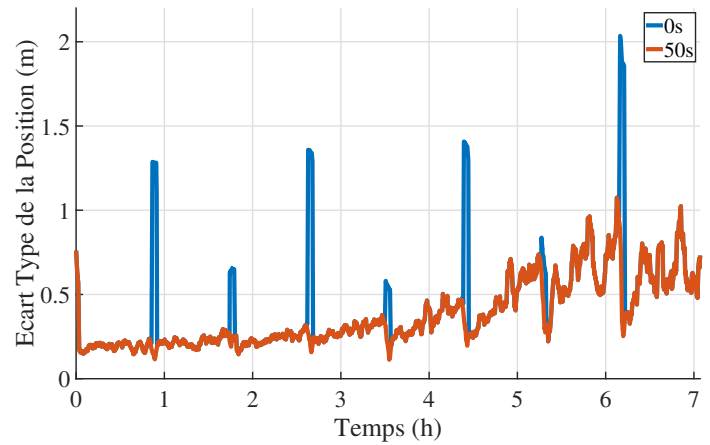


FIGURE 4. Évolution de l'écart type de la position pendant la simulation : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

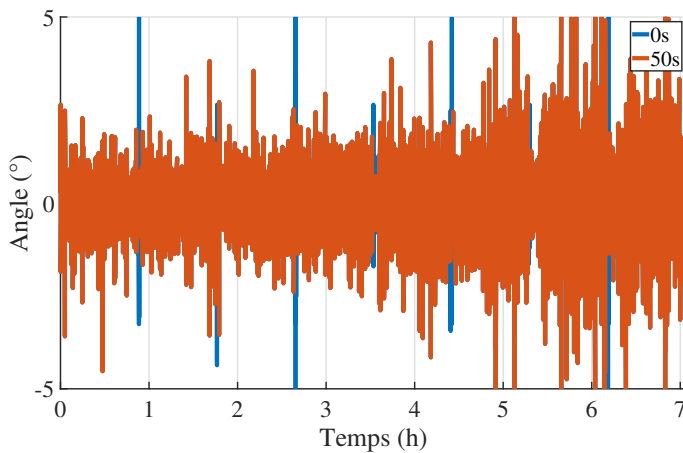


FIGURE 3. Évolution de l'Angle du volant : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

Il est aussi considérablement amélioré en enlevant les effets des changements de route.

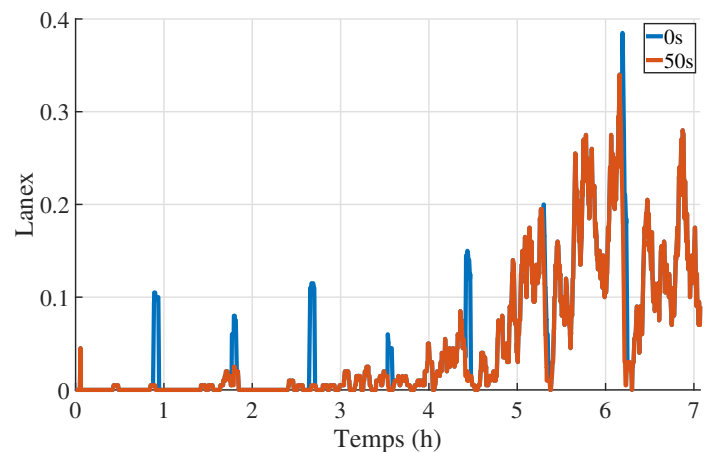


FIGURE 5. Évolution du Lanex pendant la simulation : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

B. Quantificateurs sur la position de la voiture relativement à la route

Cette partie va exposer l'effet des changements de route sur les quantificateurs reliés à la position de la voiture : l'écart type, le Lanex et le minTLC.

1) Écart type

L'écart type glissant est montré figure 4. Il peut être remarqué que cette grandeur est très intéressante pour la détection de l'hypovigilance. Sa valeur augmente significativement tout au long de la simulation. L'amélioration que procure la détection des changements de routes est clairement visible. Tous les "pics", lors des changements de trajectoire, sont supprimés. L'hypovigilance est donc mieux représentée.

2) Évolution du Lanex

Le Lanex est présenté figure 5. De la même manière que la grandeur précédente, il augmente pendant la simulation.

3) MinTlc

Le MinTLC est une grandeur qui diminue au fur et à mesure du temps. Il est présenté figure 6. Contrairement aux deux quantificateurs précédents, il est moins significativement amélioré par l'algorithme. Il n'est modifié qu'une seule fois lors de cette simulation.

C. Quantificateurs sur l'angle du volant

Deux quantificateurs associés à l'angle du volant vont être présentés : l'écart type et le RSWM.

1) Écart type

L'écart type glissant de l'angle du volant est représenté sur la figure 7. Il varie manifestement moins que celui de la position de la voiture, mais est tout aussi bien amélioré lors de la prise en compte des changements de route.

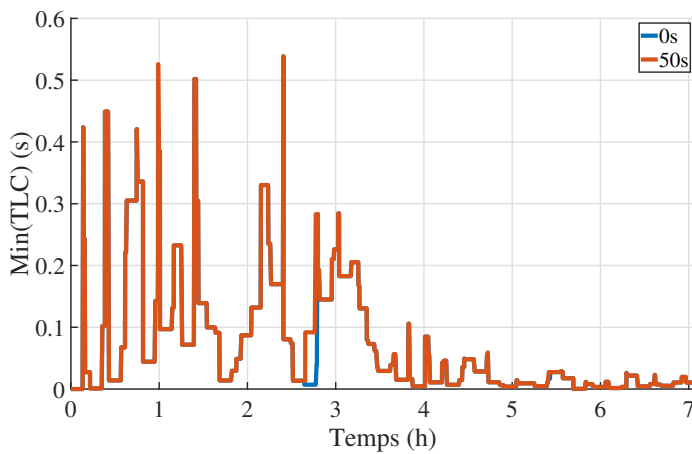


FIGURE 6. Évolution du minTLC pendant la simulation : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

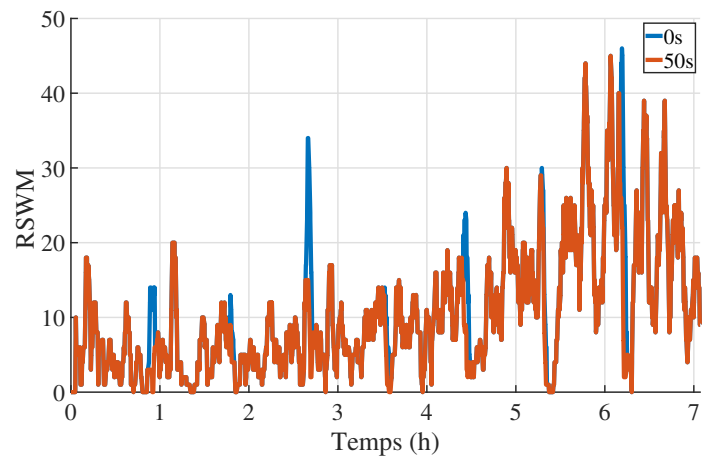


FIGURE 8. Évolution du RSWM pendant la simulation : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

Toutes les impulsions données sur le volant lors de ces changements sont supprimées.

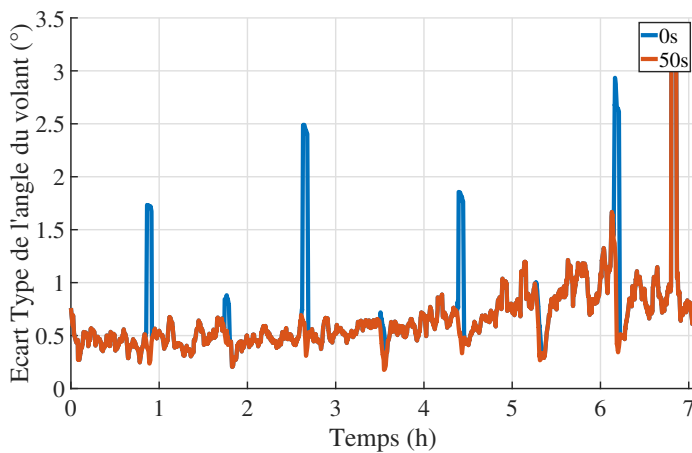


FIGURE 7. Évolution de l'écart type de l'angle du volant pendant la simulation : avec prise en compte des changements de route (brun), sans prise en compte des changements de route (bleu)

2) Rapid steering wheel movement

Le dernier quantificateur, représenté sur la figure 8, est le rapid steering wheel movement (RSWM). Il augmente pendant la simulation. Sa croissance est moins nette que pour d'autres grandeurs telles que le LANEX. L'algorithme de détection de changement de route quant à lui améliore cette grandeur en retirant certains "pics" non-représentatifs *a priori* de l'état de fatigue.

Cette sous-section a mis en évidence l'intérêt de prendre en compte les changements de route lors du calcul des quantificateurs représentatifs du niveau d'hypovigilance du conducteur. L'algorithme présenté dans cette étude permet de retirer les perturbations induites par les changements de route présents dans un trajet commun d'un conducteur.

IV. CONCLUSION

L'algorithme présenté dans cette étude permet d'améliorer les principaux quantificateurs utilisés pour la détection de l'hypovigilance. Il permet de retirer certains phénomènes, induits par le parcours du véhicule, qui pourraient être interprétés comme une augmentation du niveau de somnolence.

Les différents quantificateurs pourront être ainsi utilisés comme entrée d'un algorithme de classification pour diminuer le nombre de faux positifs.

RÉFÉRENCES

- [1] "ASFA 2016 Annual Safety Report," *ASFA INFO PRESSE*, 2016.
- [2] M. W. Johns, "A sleep physiologist's view of the drowsy driver," *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 3, no. 4, Dec. 2000.
- [3] I. D. Brown, "Driver fatigue," *Human Factors*, vol. 36, no. 2, pp. 298–314, Jun. 1994.
- [4] H. Croo, M. Bandmann, M. Mackay, K. Rumar, and P. Vollenhoven, "The role of driver fatigue in commercial road transport crashes," 2001.
- [5] S. Otmani, J. Rogé, and A. Muzet, "Sleepiness in professional drivers : effect of age and time of day," *Accident ; Analysis and Prevention*, vol. 37, no. 5, pp. 930–937, Sep. 2005.
- [6] M. Johns, "The Amplitude-Velocity Ratios for Eyelid Movements During Blinks : Changes with Drowsiness," Apr. 2018.
- [7] L. N. Boyle, J. Tippin, A. Paul, and M. Rizzo, "Driver Performance in the Moments Surrounding a Microsleep," *Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour*, vol. 11, no. 2, pp. 126–136, Mar. 2008.
- [8] A. Vadeby, A. Forsman, G. Kecklund, T. Akerstedt, D. Sandberg, and A. Anund, "Sleepiness and prediction of driver impairment in simulator studies using a Cox proportional hazard approach," *Accident ; Analysis and Prevention*, vol. 42, no. 3, pp. 835–841, May 2010.
- [9] I. Daza, L. Bergasa, S. Bronte, J. Yebes, J. Almazán, and R. Arroyo, "Fusion of Optimized Indicators from Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) for Driver Drowsiness Detection," *Sensors*, vol. 14, no. 1, pp. 1106–1131, Jan. 2014.
- [10] M. Farid, M. Kopf, H. Bubb, and A. El Essaili, "Methods to develop a driver observation system used in an active safety system," *VDI BERICHTE*, vol. 1960, p. 639, Jan. 2006.
- [11] Y.-J. Zhong, L.-P. Du, K. Zhang, and X.-H. Sun, "Localized energy study for analyzing driver fatigue state based on wavelet analysis," vol. 4, Dec. 2007, pp. 1843–1846.
- [12] Y. Takei and Y. Furukawa, "Estimate of driver's fatigue through steering motion," Nov. 2005, pp. 1765–1770 Vol. 2.

- [13] T. Wakita, "Driver Identification Using Driving Behavior Signals," *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E89-D, pp. 1188–1194, Mar. 2006.
- [14] K. Torkkola, N. Massey, and C. Wood, "Driver inattention detection through intelligent analysis of readily available sensors," *Proceedings. The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE Cat. No.04TH8749)*.
- [15] T. Ersal, H. J. A. Fuller, O. Tsimhoni, J. L. Stein, and H. K. Fathy, "Model-based Analysis and Classification of Driver Distraction Under Secondary Tasks," *Trans. Intell. Transport. Sys.*, vol. 11, no. 3, pp. 692–701, Sep. 2010.
- [16] D. Sandberg, T. Akerstedt, A. Anund, G. Kecklund, and M. Wahde, "Detecting Driver Sleepiness Using Optimized Nonlinear Combinations of Sleepiness Indicators," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 97–108, Mar. 2011.
- [17] C. C. Liu, S. G. Hosking, and M. G. Lenné, "Predicting driver drowsiness using vehicle measures : Recent insights and future challenges," *Journal of Safety Research*, vol. 40, no. 4, pp. 239–245, Aug. 2009.
- [18] A. Paul, L. Boyle, J. Tippin, and M. Rizzo, "Variability of Driving Performance During Microsleeps," 2005, pp. 18–24.
- [19] R. J. Fairbanks, M. G. Lewin, W. W. Wierwille, Virginia Polytechnic Institute and State University., and United States., *Research on vehicle-based driver status/performance monitoring. Part III*. Washington, D.C. : Springfield, Va. : National Highway Traffic Safety Administration ; Available through the National Technical Information Service, 1996.
- [20] L. Tijerina, M. Gleckler, D. Stoltzfus, S. Johnston, M. J. Goodman, and W. W. Wierwille, "A preliminary assessment of algorithms for drowsy and inattentive driver detection on the road," Sep. 1998.
- [21] K. A. Brookhuis, D. De Waard, and S. H. Fairclough, "Criteria for driver impairment," *Ergonomics*, vol. 46, no. 5, pp. 433–445, Apr. 2003.
- [22] M. Ingre, T. Akerstedt, B. Peters, A. Anund, and G. Kecklund, "Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration : examining individual differences," *Journal of Sleep Research*, vol. 15, no. 1, pp. 47–53, Mar. 2006.
- [23] H. Godthelp, P. Milgram, and G. J. Blaauw, "The Development of a Time-Related Measure to Describe Driving Strategy," *Human Factors*, vol. 26, no. 3, pp. 257–268, Jun. 1984.
- [24] S. H. Fairclough and R. Graham, "Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol : a comparative study," *Human Factors*, vol. 41, no. 1, pp. 118–128, Mar. 1999.
- [25] W. B. Verwey and D. M. Zaidel, "Predicting drowsiness accidents from personal attributes, eye blinks and ongoing driving behaviour," *Personality and Individual Differences*, vol. 28, no. 1, pp. 123–142, Jan. 2000.
- [26] S. Otmani, T. Pebayle, J. Roge, and A. Muzet, "Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers," *Physiology & Behavior*, vol. 84, no. 5, pp. 715–724, Apr. 2005.
- [27] P. Thiffault and J. Bergeron, "Monotony of road environment and driver fatigue : a simulator study," *Accident ; Analysis and Prevention*, vol. 35, no. 3, pp. 381–391, May 2003.
- [28] A. Sahayadhas, K. Sundaraj, and M. Murugappan, "Detecting Driver Drowsiness Based on Sensors : A Review," *Sensors*, vol. 12, no. 12, pp. 16 937–16 953, Dec. 2012.
- [29] Y. Dong, Z. Hu, K. Uchimura, and N. Murayama, "Driver Inattention Monitoring System for Intelligent Vehicles : A Review," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 2, pp. 596–614, Jun. 2011.
- [30] "OpenStreetMap." [Online]. Available : <https://www.openstreetmap.org/>