



HAL
open science

Analyse d'indicateurs de sécurité routière sur un peloton de véhicules équipés de l'ACC

Thibault Charlottin, Silvia Varotto, Christine Buisson

► To cite this version:

Thibault Charlottin, Silvia Varotto, Christine Buisson. Analyse d'indicateurs de sécurité routière sur un peloton de véhicules équipés de l'ACC. ATEC ITS 2024, Jan 2024, Montrouge, France. hal-04405481

HAL Id: hal-04405481

<https://hal.science/hal-04405481v1>

Submitted on 19 Jan 2024

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.

Analyse d'indicateurs de sécurité routière sur un peloton de véhicules équipés de l'ACC

Thibault Charlottin¹, Silvia Varotto¹, Christine Buisson¹

¹ LICIT-ECO7, ENTPE, Université Gustave Eiffel, F-69518 Lyon, France

Congrès ATEC-ITS 2024

Beffroi de Montrouge, 23-24 janvier 2024

Résumé :

Les véhicules équipés de régulateurs de vitesse adaptatifs (ACC, acronyme anglais) suscitent un débat actif sur leur impact sur la sécurité routière. L'industrie automobile soutient que l'augmentation de la part de marché des ACC aura un impact positif sur la sécurité, les conducteurs étant responsables de 90% des accidents. Si ces affirmations sont corroborées par des outils de simulation, d'autres études ont mis en avant un lien entre réduction du "time to collision" et présence de véhicules automatisés. Cependant, la question de l'impact du paramétrage de l'ACC sur la sécurité routière n'a pas été suffisamment explorée. L'objectif de cette étude est de comparer la fréquence d'apparition de valeurs critiques d'indicateurs de sécurité routière pour un type de paramétrage des ACC. En outre, il vise à étudier l'impact des ACC sous le prisme d'autres indicateurs de sécurité usuels. Ce document présente une méthode de comparaison des indicateurs de sécurité sur des pelotons équipés ou non de l'ACC. L'utilisation de cette méthode met en avant que les ACC en peloton sont source d'apparition de situations critiques plus fréquemment que dans le cas de pelotons composés uniquement de véhicules conventionnels.

1 Introduction

L'automatisation croissante de la conduite, commencée à la fin des années 90 [SAE, 2018], se répercute actuellement par une augmentation de la part de marché des véhicules équipés du régulateur de vitesse adaptatif (acronyme ACC pour en anglais *Adaptive Cruise Control*) sur les routes européennes. Une étude a estimé que d'ici à 2023, 25% des véhicules roulant sur les autoroutes seraient équipés de l'ACC [Calvert et al., 2017]. L'automatisation de la conduite est vantée par les industriels comme étant une solution permettant d'augmenter la capacité des routes, de limiter la consommation des véhicules ainsi que de sécuriser les routes. Il a cependant été montré à partir d'observations expérimentales que l'augmentation du taux de pénétration des véhicules équipés de cette technologie conduit à une réduction de la capacité des routes [Gomez Patino, 2022, Li et al., 2021]. Il a été montré que cette réduction de capacité en absence de système de communication entre les véhicules était de 25% pour un trafic 100% automatisé [Gomez Patino, 2022].

Sur le plan microscopique, il a été observé expérimentalement que les véhicules ACC se suivant en formation de peloton menaient des situations d'instabilité de vitesse [Ciuffo et al., 2021]¹. Cela mène des situations où les véhicules freinent de plus en plus fort entraînant des décélérations pouvant atteindre

¹Une définition de ce phénomène est donnée par [Wilson and Ward, 2011]

les $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Or selon une étude il existe une relation linéaire entre la fréquence d'apparition de ces freinages forts et les accidents sur la route [Desai et al., 2021].

Pour étudier l'impact de ces véhicules automatisés on se limitera ici au cas des pelotons. En effet, il a été montré qu'en dehors des situations de poursuite ces véhicules se comportent comme des véhicules équipés du régulateur de vitesse classique [Milanés and Shladover, 2014]. Une étude a montré que les véhicules ACC qui se situent dans une formation de peloton court (3 véhicules ou moins) produisent un profil de vitesse similaire à celui des véhicules conventionnels [Ciuffo et al., 2021]. Elle montre également que des pelotons automatisés plus longs induisent une réduction la valeur de "time to collision" [Hydén, 1996]².

Cependant, ces différentes études n'ont pas étudié l'impact du paramétrage de l'ACC sur la sécurité routière. Il est en effet possible de sélectionner un temps de réaction sur ce genre d'équipement de façon à choisir une grande agressivité (qui mène à un temps intervéhiculaire court avec le véhicule situé devant) ou une faible agressivité du contrôleur. En outre, elles n'ont pas évalué d'autres indicateurs de sécurité usuels. L'impact réel de ces véhicules ainsi qu'une possible corrélation entre paramétrage est impact est encore à évaluer.

Notre étude a pour but d'évaluer l'impact de ces véhicules sur des situations de pelotons longs (4 véhicules ou plus). Pour ce faire on utilisera des données de pelotons de taille 5 à 12 véhicules collectés en situations expérimentales par l'équipe du JRC *Joint Research Centre* [Anesiadou, 2020] dans divers sites en Europe. Ces données de trajectoires seront utilisées pour calculer des indicateurs de sécurité usuels et validés sur des données d'accident.

La suite de ce document présentera dans un premier temps les données puis les indicateurs utilisés. Les résultats du calcul de ces indicateurs seront présentés par la suite. La dernière partie présente les conclusions de l'étude ainsi que les recommandations opérationnelles qu'il est possible d'en tirer.

2 Présentation de la donnée utilisée

Dans le cadre de cette étude, nous utilisons les données OpenACC collectées par le *Joint Research Centre* de la Commission Européenne. Cette base de données [Anesiadou, 2020] comporte à la fois des trajectoires de pelotons ACC, non automatisés ou mixtes mais aussi des trajectoires de véhicules ACC insérés dans le trafic. Les données ont été collectées entre 2019 et 2020 dans différents sites en Hongrie et en Suède (pour les expériences sur des circuits de test) et sur des autoroutes du Nord de l'Italie (pour les expériences en route ouverte). Ces données sont accessibles sur le lien suivant : [OpenACC](#).

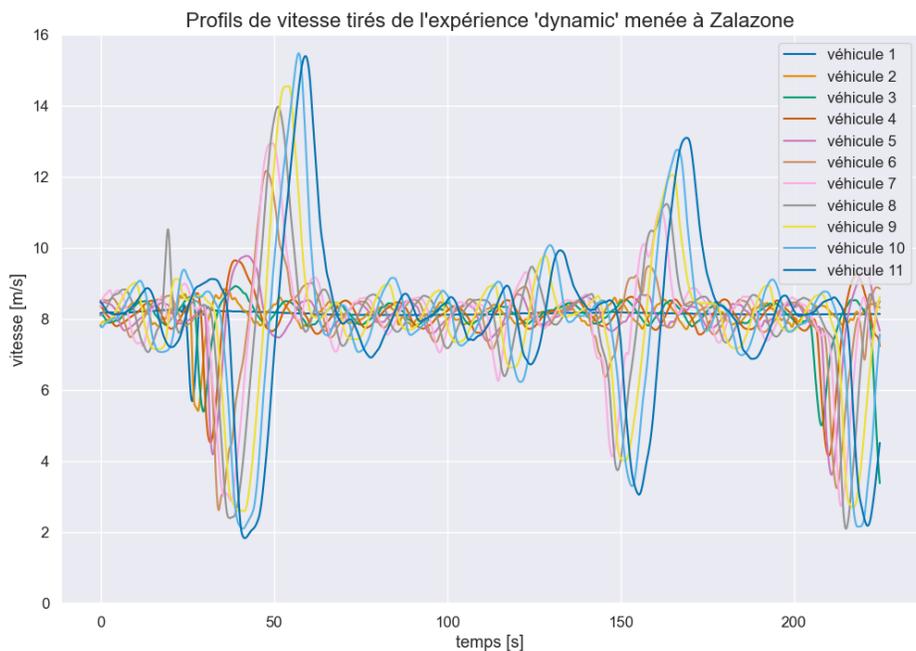
Au cours de cette étude, seules les données collectées en route fermée seront utilisées. Ces données ont été obtenues en plaçant des capteurs dans plusieurs véhicules se suivant en formation de peloton. La fréquence d'acquisition des données était de 10 Hz. Les véhicules ont été conduits soit manuellement, soit avec le système ACC activé. Lorsque le système ACC était activé, plusieurs réglages de l'intervalle de temps ont été testés (intervalle court, moyen et long). Plus l'intervalle est court, plus la réponse du véhicule suivant est réactive. Deux expériences différentes ont été menées :

- Type A : Le leader conduit à une vitesse fixée autour de $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A intervalle régulier le véhicule leader accélère atteint les $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ stabilise sa vitesse puis décélère de façon à atteindre les $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Il stabilise de nouveau sa vitesse avant de réaccélérer. Ces données sont issues des expériences menées sur le site d'Astrazero (Suède).

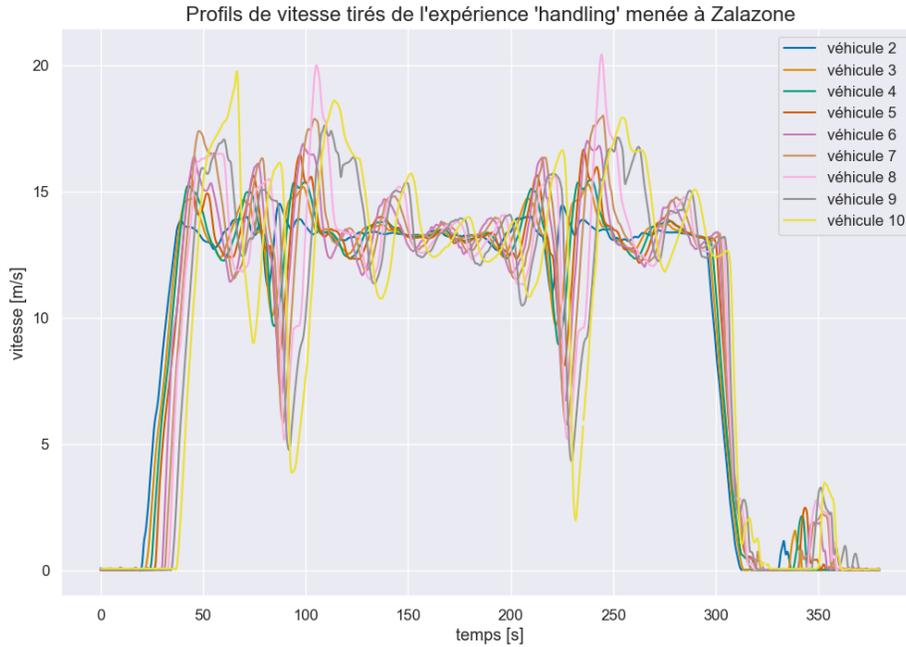
²une définition de cet indicateur est faite en section 2.1.



- Type B : Le leader conduit à une vitesse constante sauf pour de courtes périodes de temps où il décélère brutalement et accélère pour revenir à sa vitesse initiale. Ce type de trajectoire se retrouve dans les données des essais réalisés à Zalazone (Nord de l'Italie) labellisées *dynamic*.



- Type C : Tous les véhicules du peloton partent à l'arrêt. Le leader impose un profil de vitesse. Les décélérations du leader n'excèdent en général pas $1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Ce type de trajectoire se retrouve dans les données des essais réalisés à Zalazone labellisées *handling*. Dans ce type de trajectoires, les changements de vitesse du leader sont uniquement liées à la géométrie de la piste sur laquelle le test a été conduit.



3 Quels indicateurs utiliser pour mesurer la sécurité ?

Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons trois indicateurs parmi les plus utilisés dans les études de sécurité routière.

- En premier lieu, on utilise le *time to collision* (TTC) [Hydén, 1996] que l'on définit comme le temps nécessaire à deux véhicules pour entrer en collision s'ils continuent à leur vitesse actuelle et sur la même trajectoire. La formule du TTC est la suivante :

$$TTC = \frac{X_{\text{suiveur}} - X_{\text{leader}} - L_{\text{leader}}}{V_{\text{suiveur}} - V_{\text{leader}}} \text{ avec } V_{\text{suiveur}} > V_{\text{leader}} \quad (1)$$

Avec X_{suiveur} (respectivement X_{leader}) la position du suiveur (respectivement leader) et V_{suiveur} (respectivement V_{leader}) la vitesse du suiveur (respectivement leader). L_{leader} est la longueur du véhicule leader.

- Le TTC a été réutilisé par [Minderhoud and Bovy, 2001] de façon à créer le *time exposed to collision* (TET). Il s'agit pour chaque pas de temps de déterminer si le véhicule a un TTC inférieur à une valeur critique. Si c'est le cas le TET est incrémenté du pas de temps. Le TET a la formule suivante :

$$TET = \sum TTC_i \times \tau, \forall TTC_i > \text{valeur}_{\text{critique}} \quad (2)$$

Avec τ la fréquence d'observation lors de l'acquisition de la donnée.

- On utilise par la suite le *deceleration rate to avoid a collision* (DRAC)[Almqvist et al., 1991]. Il s'agit "de la décélération nécessaire à deux véhicules pour éviter entrer en collision à un pas de temps donné si le véhicule leader reste à vitesse constante". La formule du DRAC est la suivante :

$$DRAC = \frac{(V_{\text{suiveur}} - V_{\text{leader}})^2}{2(X_{\text{suiveur}} - X_{\text{leader}} - L_{\text{leader}})} \text{ avec } V_{\text{suiveur}} > V_{\text{leader}} \quad (3)$$

Avec X_{suiveur} (respectivement X_{leader}) la position du suiveur (respectivement leader) et V_{suiveur} (respectivement V_{leader}) la vitesse du suiveur (respectivement leader). L_{leader} est la longueur du véhicule leader.

- Enfin, on calculera pour chaque pas de temps la valeur de l'accélération des véhicules. Dans le cas de décélérations, on s'intéressera à celles supérieures à $2,5\text{m/s}^2$. En effet, selon une étude sur des données d'accidents de [Desai et al., 2021] la fréquence d'apparition de situations accidentogènes est corrélée à la fréquence de décélérations d'intensité au moins équivalentes à la valeur de $2,5\text{m/s}^2$.³

4 Comparaison types de pelotons sur la base des indicateurs

4.1 TTC et TET

A chaque pas de temps et pour chaque véhicule on calcule le TTC selon la formule présentée en (1). Par la suite on calcule pour chaque trajectoire le TET. La figure 1 présente la somme des TET normalisée par la durée des trajectoires. La valeur d'activation du TET (valeur critique de l'équation 2) est fixée à 1,5s selon les travaux de [Kusano K., 2011] basés sur des données d'accidents.

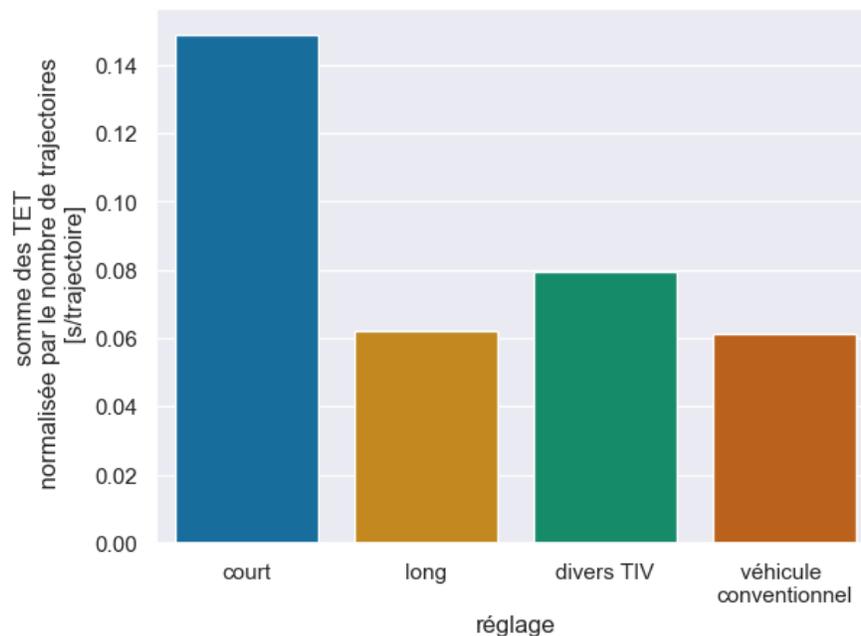


Figure 1: Somme des TET normalisée par la durée des trajectoires et groupés par type de peloton

Il apparaît qu'en moyenne les pelotons ACC paramétrés avec un temps intervéhiculaire (TIV) court sont à l'origine de TTC faibles 1,75 fois plus souvent que pour les pelotons ACC où les paramétrages sont diversifiés. Cette fréquence d'apparition de TTC faibles est 2,83 fois moins fréquente dans le cas de pelotons équipés de véhicules ACC avec temps de réaction long. Le ratio de la fréquence d'apparition de TTC faibles entre les pelotons ACC à temps intervéhiculaire court et peloton de véhicules conventionnels est lui aussi de 2,83.

On réalise alors de test de Mann-Whitney U [Mann and Whitney, 1947] de façon à savoir si l'hypothèse les pelotons ACC à temps intervéhiculaire court induisent une augmentation du nombre de situations à TTC critiques. On obtient une p-value de 1, ce qui montre qu'il n'est pas possible de conclure statistiquement. Il semble même qu'il n'y ait aucune corrélation.

³cette étude met en évidence une relation linéaire indiquant que 97 décélérations de cette magnitude dans une même zone d'un kilomètre sur un laps de temps de 4h induisent une probabilité tendant vers 100% d'observer un accident.

4.2 DRAC

On calcule selon le même protocole que précédemment les valeurs de DRAC à chaque pas de temps pour tous les véhicules. On pose ensuite $8,5\text{m/s}^2$ comme étant la valeur critique de DRAC selon les travaux de [Chuan Yun Fu, 2021]

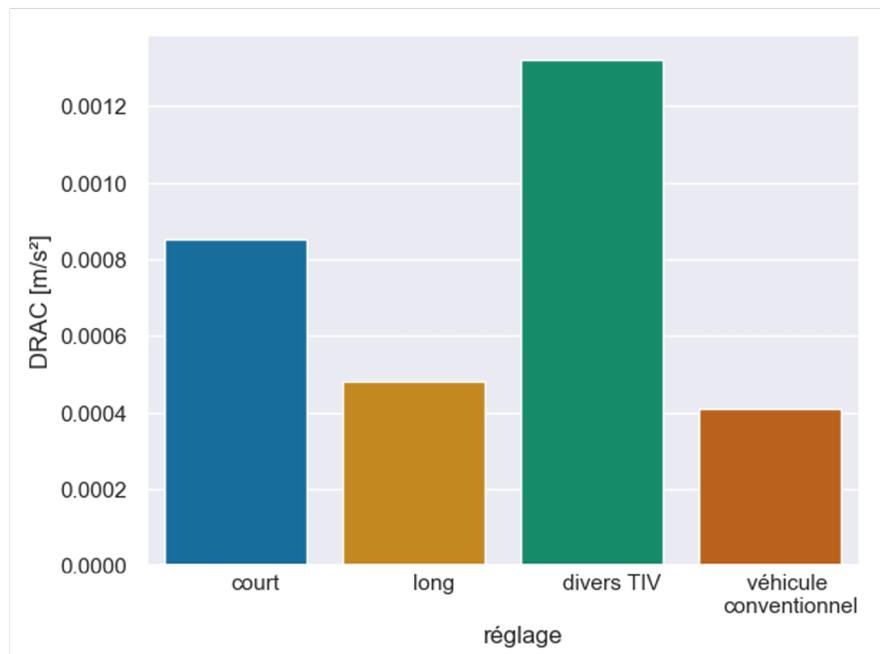


Figure 2: Pourcentage du temps au cours duquel $\text{DRAC} > 8,5\text{m/s}^2$ par réglage

La figure 2 présente le pourcentage temporel au cours duquel le DRAC est inférieur à $8,5\text{m/s}^2$ paramètre par réglage. Il en ressort que les pelotons composés d'ACC avec des TIV variables sont ceux qui ont la prévalence de situations à DRAC élevé la plus importante avec un pourcentage du temps de 0,0012%. Les pelotons ACC paramétrés avec un TIV court produisent ce type de situation 25% moins souvent. Enfin les pelotons ACC à TIV long et les véhicules conventionnels produisent ce genre de situations trois fois moins souvent que les pelotons composés d'ACC avec des TIV variables.

On réalise alors de test de Mann-Whitney U de façon à savoir si l'hypothèse la présence de véhicules ACC paramétrés avec un TIV court induit une augmentation du DRAC. On obtient une p-value de 0,93, ce qui montre qu'il n'est pas possible de conclure statistiquement. Cependant, il n'est pas possible de conclure quand à la cause entre une non significativité ou un échantillon de taille trop petite.

4.3 Décélérations fortes

On détermine enfin le nombre de décélération dites fortes telles que définies en section 3.

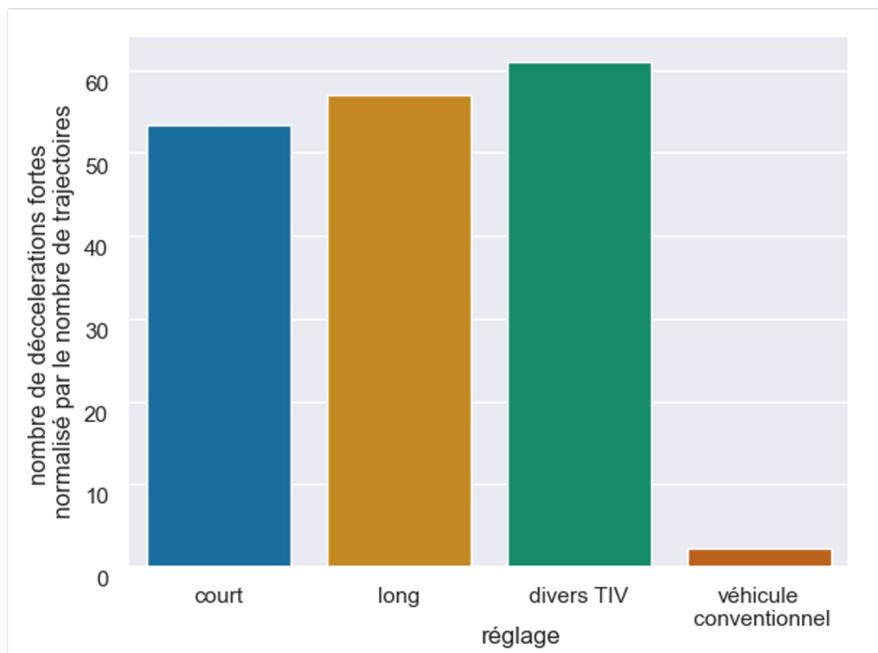


Figure 3: Nombre de décélérations fortes normalisées par le nombre de trajectoires

La figure 3 décrit le nombre de décélérations fortes normalisé par le nombre de trajectoires en fonction du type de peloton. On constate que les pelotons de véhicules équipés de l'ACC produisent ce type d'évènements de 54 (peloton ACC à TIV court) à 60 fois en moyenne par trajectoire (peloton ACC à TIV variables)⁴. A l'inverse ce genre d'évènement arrive moins de 5 fois par trajectoire pour les pelotons de véhicules conventionnels.

Si l'on réalise un test de Mann-Whitney U sur ces résultats en faisant l'hypothèse que les véhicules conventionnels produisent moins de décélérations brutales, on obtient une p-value de 0,25. Il est ainsi possible de lier les pelotons ACC à une augmentation du nombre de décélérations fortes.

5 Conclusion et recommandations

Au cours de cette étude, nous avons mis en avant que la fréquence d'apparition de situations considérées comme critiques pour la sécurité routière augmente avec la présence de véhicules équipés de l'ACC dans des pelotons. Si les ACC ne font pas significativement baisser les valeurs du TTC ni augmenter la décélération nécessaire afin d'éviter une collision, ils font sensiblement augmenter le nombre de décélérations fortes.

Cette étude met en avant que les véhicules équipés de l'ACC dans des situations de pelotons augmentent la fréquence d'apparition de situations classiquement considérées comme à risque. Cette fréquence est dans des proportions nettement supérieures à celle observée pour les pelotons de véhicules conventionnels. La fréquence d'apparition de décélérations fortes est en particulier préoccupante surtout dans un contexte de trafic routier mixte mélangeant les véhicules automatisés et conventionnels. Les

⁴les pelotons ACC à TIV long le font 57 fois par trajectoire en moyenne

conducteurs humains risquent de se retrouver dans des situations de freinage d'urgence répétées suite à des décélérations fortes des véhicules ACC le précédant. Le risque accidentogène sera bien plus fort. En effet, selon [Desai et al., 2021], il existe une relation linéaire entre le nombre de décélérations de plus de $2,5\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et l'augmentation du risque accidentogène.

La présence de véhicules ACC dans un trafic mixte sous forme de pelotons risque d'augmenter la fréquence d'apparition de ce type de décélérations et ainsi augmenter le danger pour les conducteurs humains suivant ces pelotons ou en faisant partie.

Il convient toutefois de rappeler que cette étude a été réalisée à partir de la seule étude de pelotons de véhicules de 5 à 10 véhicules. Or cette situation n'est pas la plus représentative de l'ensemble du trafic routier. L'étude met néanmoins en évidence que l'hypothèse de la sécurité améliorée par l'automatisation est à moduler.

Ainsi les ACC en freinant trop brutalement ont un comportement diamétralement différent de celui des humains qui eux, tendent à anticiper les freinages des véhicules qui les précèdent. Afin de limiter ces décélérations la connectivité des véhicules est une première solution. Cependant, elle nécessite soit des équipements de bord de route dont l'implantation sera coûteuse, soit une couverture 5G sur l'ensemble des routes, ce qui n'est pas le cas pour le moment et ne devrait pas l'être dans un futur proche. De plus, une telle approche uniquement basée sur un ajout de technologie méconnaît les considérations environnementales. De plus, même dans une hypothèse de déploiement massif de cette technologie, elle ne pourrait se faire dans un laps de temps court du fait de la faible portée des antennes 5G. Il paraît ainsi pertinent de se pencher sur une refonte des algorithmes de façon à permettre de borner plus qu'actuellement les décélérations des ACC tout en conservant de bonnes garanties de sécurité.

Sources

- [Almqvist et al., 1991] Almqvist, S., Hyden, C., and Risser, R. (1991). Use of speed limiters in cars for increased safety and a better environment. *Transportation Research Record*, (1318).
- [Anesiadou, 2020] Anesiadou, A. (2020). Open acc database. *European Commission*. url : <http://data.europa.eu/89h/9702c950-c80f-4d2f-982f-44d06ea0009f>.
- [Calvert et al., 2017] Calvert, S. C., Schakel, W. J., and van Lint, J. W. C. (2017). Will automated vehicles negatively impact traffic flow? *Journal of Advanced Transportation*, 2017:1–17. doi.org/10.1155/2017/3082781.
- [Chuanyun Fu, 2021] Chuanyun Fu, T. S. (2021). Comparison of threshold determination methods for the deceleration rate to avoid a crash (drac)-based crash estimation. *Accident Analysis Prevention*. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106051>.
- [Ciuffo et al., 2021] Ciuffo, B., Mattas, K., Makridis, M., Albano, G., Anesiadou, A., He, Y., Josvai, S., Komnos, D., Pataki, M., Vass, S., and Szalay, Z. (2021). Requiem on the positive effects of commercial adaptive cruise control on motorway traffic and recommendations for future automated driving systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 130:103305. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103305>.
- [Desai et al., 2021] Desai, J., Li, H., Mathew, J. K., Cheng, Y.-T., Habib, A., and Bullock, D. M. (2021). Correlating hard-braking activity with crash occurrences on interstate construction projects in indiana. *Journal of Big Data Analytics in Transportation*, 3(1):27–41. [10.1007/s42421-020-00024-x](https://doi.org/10.1007/s42421-020-00024-x).

- [Gomez Patino, 2022] Gomez Patino, C. (2022). *Variabilité inter-individuelle du comportement longitudinal de véhicules à conduite manuelle ou automatisée : impacts sur la capacité des voies*. PhD thesis. <https://www.theses.fr/2022LYSET005>.
- [Hydén, 1996] Hydén, C. (1996). Traffic conflicts technique: state-of-the-art. *Traffic safety work with video processing*, 37:3-14.
- [Kusano K., 2011] Kusano K., G. H. (2011). Method for estimating time to collision at braking in real-world, lead vehicle stopped rear-end crashes for use in pre-crash system design. *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.*
- [Li et al., 2021] Li, T., Chen, D., Zhou, H., Laval, J., and Xie, Y. (2021). Car-following behavior characteristics of adaptive cruise control vehicles based on empirical experiments. *Transportation Research Part B: Methodological*, 147:67-91. 10.1016/j.trb.2021.03.003.
- [Mann and Whitney, 1947] Mann, H. B. and Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1):50-60.
- [Milanés and Shladover, 2014] Milanés, V. and Shladover, S. E. (2014). Modeling cooperative and autonomous adaptive cruise control dynamic responses using experimental data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48:285-300.
- [Minderhoud and Bovy, 2001] Minderhoud, M. M. and Bovy, P. H. (2001). Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 33(1):89-97.
- [SAE, 2018] SAE (2018). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles.
- [Wilson and Ward, 2011] Wilson, R. and Ward, J. (2011). Car-following models: fifty years of linear stability analysis - a mathematical perspective. *Transportation Planning and Technology*, 34(1):3-18. 10.1080/03081060.2011.530826.

Thibault Charlottin

Thibault Charlottin est ingénieur de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État, diplômé en 2022. Il est actuellement doctorant au sein du Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transport - Eco7 (LICIT-Eco7), une unité mixte de recherche de l'ENTPE et de l'Université Gustave Eiffel. Sa thèse porte sur « L'identification des résultats attendus d'un outil de microsimulation intégrant des véhicules ACC », dirigée par Christine Buisson et Silvia Varotto.

Ses travaux actuels portent sur l'étude à l'échelle microscopique des ACC insérés dans le trafic. Ils sont orientés en trois axes :

- Étude de l'impact sur la consommation de la présence de véhicules ACC dans le trafic
- Étude de l'impact sur la sécurité routière de la présence de véhicules ACC dans le trafic
- Étude de l'impact sur la capacité locale de la présence de véhicules ACC dans le trafic

Par ailleurs, il exerce les fonctions de chargé de TD au sein de l'ENTPE.

Silvia Varotto

Silvia Varotto is a chargée de recherche in the Transport and Traffic Engineering Laboratory (LICIT-ECO7) at École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE). Her main research interest is developing advanced mathematical models that capture the decision making of individuals realistically and can be implemented into simulations to assess the impact of cutting-edge technologies on the transportation system. In 2021-2022, she was a postdoctoral researcher in discrete choice modelling in transportation at Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Switzerland). She worked as a researcher in human factors in vehicle automation at SWOV Institute for Road Safety Research (the Netherlands) from 2018 to 2021. In 2018, she obtained her PhD at Delft University of Technology (the Netherlands) on the thesis "Driver behaviour during control transitions between Adaptive Cruise Control and manual driving: empirics and models". She received her BSc and MSc in Civil Engineering from the University of Trieste (Italy).