



HAL
open science

Systèmes embarqués de régulation de la vitesse.

Guillaume Saint Pierre, Helene Tattegrain, Lara Désiré

► **To cite this version:**

Guillaume Saint Pierre, Helene Tattegrain, Lara Désiré. Systèmes embarqués de régulation de la vitesse.. LA VITESSE: ENJEUX CONTEMPORAINS ET POLITIQUES PUBLIQUES, Editions Harmattan, 2023, 978-2-336-40401-1. hal-04430282

HAL Id: hal-04430282

<https://hal.science/hal-04430282>

Submitted on 31 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.

Systèmes embarqués de régulation de la vitesse

Guillaume Saint Pierre¹

Hélène Tattegrain²

Lara Désiré³

1 INTRODUCTION

Ce chapitre porte sur l'impact de l'utilisation des systèmes embarqués de régulation de la vitesse sur le comportement de conduite. Certains d'entre eux sont commercialisés depuis de nombreuses années et sont largement répandus. C'est le cas du limiteur de vitesse ou du régulateur de vitesse conventionnel ou adaptatif, dont les impacts ont été évalués dans le cadre d'expérimentations internationales. D'autres systèmes de conception plus récente équipent de plus en plus de véhicules. Ainsi le système d'adaptation intelligente de la vitesse (AIV), qui tient compte des vitesses limites autorisées et qui équipera tous les nouveaux véhicules du marché européen dès 2022, ont été expérimentés et évalués en conditions réelles dans plusieurs pays européens. Ce chapitre présente un état des lieux du déploiement de ces solutions embarquées de régulation de la vitesse, des méthodes de références pour en évaluer l'impact sur le comportement, et des résultats issus d'expérimentations européennes disponibles dans la littérature du point de vue de l'impact sur le comportement de conduite.

2 PRESENTATION DES SYSTEMES EMBARQUES DE REGULATION DE LA VITESSE

Les systèmes de régulation de la vitesse sont des systèmes améliorant le confort de conduite. S'ils n'ont pas été conçus dans un but d'amélioration de la sécurité ni de réduction des émissions liées à la conduite, ils peuvent néanmoins avoir des effets positifs sur ces deux dimensions. Ainsi, l'essentiel des gains attendus par l'utilisation des systèmes de régulation de la vitesse sont d'une part le confort de la conduite et d'autre part une sécurité de conduite accrue.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons principalement à l'acceptabilité et à l'impact sur la sécurité de la conduite automobile de quatre systèmes de régulation de la vitesse. L'impact environnemental ne sera abordé que succinctement. Les systèmes abordés sont le limiteur de vitesse, le régulateur de

¹ Cerema Occitanie, équipe de recherche « Systèmes de transports intelligents », 1 Avenue du Colonel Roche, 31400 Toulouse, guillaume.saintpierre@cerema.fr

² UGE, LESCOT-TS2, 25 Avenue François Mitterrand 69675 Bron, helene.tattegrain@univ-eiffel.fr

³ Cerema, équipe recherche Psychologie Appliquée, 5 rue Jules Vallès 22015 Saint-Brieuc cedex, lara.desire@cerema.fr

vitesse conventionnel, le régulateur adaptatif de la vitesse, et le système d'adaptation intelligente de la vitesse.

Les résultats présentés ont pour l'essentiel été obtenus dans le cadre de deux projets de recherche collaboratifs, EuroFOT et LAVIA. Le projet EuroFOT terminé en 2012 fut la première expérimentation à grande échelle européenne de systèmes d'assistance à la conduite embarqués. Il a porté sur trois systèmes de régulation de la vitesse sur le marché, à savoir le limiteur de vitesse, le régulateur de vitesse conventionnel et le régulateur adaptatif de la vitesse. Le projet LAVIA (Limiteur s'Adaptant à la Vitesse Autorisée, terminé en 2004) a permis de tester une version française d'un système d'adaptation intelligente de la vitesse en conditions réelles suivant différents modes de fonctionnement : neutre, informatif, actif débrayable et actif non débrayable.

Avant de présenter ces résultats, nous décrivons les différents systèmes évalués, et nous rappelons les méthodologies utilisées et leur intérêt pour étudier l'impact sur le confort et la sécurité.

2.1 Limiteur de vitesse

Le limiteur de vitesse (*speed limiter, SL*) permet au conducteur de fixer volontairement la vitesse maximale du véhicule. Pour cela, le conducteur active le système puis règle la vitesse maximale désirée. Il peut modifier cette vitesse maximale à l'aide de commandes spécifiques (boutons + ou -) lui permettant d'augmenter ou de diminuer la vitesse désirée. Le système se désactive en appuyant sur un bouton de commande manuelle. Lorsque la vitesse réglée est atteinte, la pédale de l'accélérateur se durcit afin d'indiquer au conducteur qu'il a atteint la vitesse limite. Le conducteur peut dépasser cette vitesse en appuyant fortement sur la pédale d'accélérateur (pour réaliser une manœuvre de dépassement par exemple).

2.2 Régulateur de vitesse conventionnel

Le régulateur de vitesse conventionnel (*Conventional Cruise control, CCC*) permet de maintenir automatiquement la vitesse du véhicule à la vitesse réglée volontairement par le conducteur. Tout comme pour le limiteur, le conducteur active le système puis il définit, pour une vitesse supérieure à 30 km/h, la vitesse à laquelle le véhicule doit circuler. Il peut modifier cette vitesse par un appui sur des commandes spécifiques. Le système se désactive soit par un appui sur un bouton, soit par un appui sur la pédale de frein ou d'embrayage. Il est possible de dépasser la vitesse réglée en appuyant sur la pédale d'accélérateur. Dans ce cas, le système n'est pas désactivé et recommencera à maintenir automatiquement le véhicule à la vitesse réglée dès que la pédale d'accélérateur sera relâchée. Il est important de noter que ces systèmes n'agissent pas sur le frein donc il est possible que la vitesse réglée soit dépassée en cas de pente importante.

2.3 Régulateur adaptatif de la vitesse

Le régulateur adaptatif de vitesse (*Adaptive Cruise Control, Automatic Cruise Control, ACC ; Intelligent Cruise Control, ICC ; Adaptive Intelligent Cruise Control, AICC*) est une extension du régulateur de vitesse conventionnel puisqu'il permet de maintenir automatiquement la vitesse mais également la distance avec le véhicule précédent. Le système comprend un capteur de distance (radar, lidar, vidéo caméra) qui permet de mesurer la distance et la vitesse relative du véhicule équipé et du véhicule le précédent. Le conducteur règle donc non seulement la vitesse mais également le temps inter-véhiculaire désiré. Si le véhicule précédent est trop proche ou trop lent, le système bascule d'un fonctionnement basé sur la vitesse à un fonctionnement basé sur le temps inter-véhiculaire. Il est donc possible que la vitesse adoptée ne soit plus celle réglée par le conducteur. Dès que le temps inter-véhiculaire est respecté, le système reprend un fonctionnement basé sur la vitesse réglée. Les premières générations de régulateur adaptatif de la vitesse ont fait leur entrée sur le marché japonais en 1995, européen en 1998 et nord-américain en 2000 (Xia and Gao, 2010).

2.4 Adaptation Intelligente de la Vitesse

Le système d'Adaptation Intelligente de la Vitesse (*AIV ou ISA pour Intelligent Speed Adaptation,*) permettent de limiter la vitesse du véhicule en tenant compte non plus de la vitesse fixée volontairement par le conducteur mais de la vitesse maximale autorisée (VMA) sur la section de route empruntée.

Il existe plusieurs modes de fonctionnement de ces systèmes. Dans la version testée lors du projet LAVIA, le système est dit « informatif » (*informative* ou *advisory ISA*) s'il repose sur une simple alerte visuelle ou auditive du conducteur sans blocage de l'accélération ; « actif volontaire » (*active voluntary* ou *supportive* ou *warning ISA*) si le système bloque l'accélération en cas d'excès de vitesse, mais qu'il peut être désactivé à tout moment par le conducteur, et « actif contraint » (*active mandatory* ou *intervening* ou *mandatory ISA*) si le système est toujours actif sans possibilité d'être désactivé. Précisons que la désactivation temporaire par un appui fort sur la pédale d'accélérateur (*kick-down*) est une mesure de sécurité toujours présente quel que soit le système de régulation de vitesse utilisé.

L'identification de la VMA se fait à l'aide d'un système basé sur l'observation des panneaux et signaux routiers ou à l'aide d'un système basé sur le positionnement géographique du véhicule et la consultation en temps réel d'une base de données des VMA du réseau routier.

A compter du 6 juillet 2022, tous les nouveaux modèles de véhicules qui seront mis sur le marché, immatriculés ou mis en service en Europe devront être équipés du système d'adaptation intelligente de la vitesse (Règlement (UE) 2019/2144 et 2021/1958), qui en a précisé la définition fonctionnelle :

Au sens du règlement délégué (UE) 2021/1958 de la Commission du 23 juin 2021: «Un système d'adaptation intelligente de la vitesse (ISA) comporte une fonction d'information concernant la limite de vitesse (SLIF) et soit une fonction d'[avertissement concernant la limite de vitesse](#) (SLWF), soit une [fonction de régulation de la vitesse](#) (SCF).»

Le mode de fonctionnement sera de type actif volontaire par défaut au démarrage du véhicule et le conducteur aura la possibilité de désactiver le système et ainsi basculer en mode de fonctionnement de type informatif.

Le système d'adaptation intelligente de la vitesse devrait permettre que l'extinction reste activée aussi longtemps que nécessaire et que le système soit réenclenché aisément par le conducteur. Lorsque le système est éteint, le véhicule peut fournir des informations sur les limitations de vitesse. Le système devrait être systématiquement activé lors du démarrage du véhicule et il convient que le conducteur soit toujours averti de l'état du système. »

— Règlement (UE) 2019/2144 du parlement européen et du conseil du 27 novembre 2019

3 METHODOLOGIES D'ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE RÉGULATION DE LA VITESSE DANS LES PROJETS EUROFOT ET LAVIA

L'évaluation moderne des systèmes de régulation de la vitesse repose sur deux méthodologies complémentaires basées, d'une part sur la collecte de données concernant le conducteur et son ressenti, et d'autre part sur la collecte de données concernant le véhicule et sa dynamique. Cette dernière approche, basée sur la collecte de données lors de longues périodes de conduite automobile en situation naturelle, permet d'accéder de façon rétrospective à des sections ou événements particuliers.

3.1 Méthodes d'évaluation de l'acceptabilité des systèmes de régulation de la vitesse dans les projets EuroFOT et LAVIA

L'acceptabilité d'un système technologique dépend de différentes dimensions telles que l'utilité perçue (façon dont le système assiste la tâche de conduite, mesure dans laquelle la personne croit que le système améliorera le rendement), la perception de la facilité d'utilisation (capacité d'utiliser le système avec succès avec un minimum d'effort), l'efficacité perçue (fonctionnement du système conformément à ses spécifications de conception), la satisfaction perçue (évaluation de la désirabilité des systèmes, vraisemblance, etc.), l'abordabilité (volonté de payer pour le système), la confiance (confiance du conducteur dans le système), l'acceptabilité sociale perçue (équité, justice perçue, intégrité, vie privée), ainsi que la charge de travail mental subjective (demande mentale perçue au volant).

L'acceptabilité est évaluée à l'aide de questionnaires visant à interroger les utilisateurs sur des ensembles d'éléments qui sont importants pour évaluer ces différentes dimensions. Par exemple, dans le projet EuroFOT, l'acceptabilité a été évaluée par une série de questions à l'aide de l'échelle d'acceptation de Van der Laan et ses collaborateurs (1997). Dans cette échelle, les participants notent neuf éléments sur une échelle de notation à cinq choix. Cinq de ces éléments sont considérés comme des éléments portant sur la dimension d'utilité (utile/inutile, bon/mauvais, nécessaire/superflu, assistant/sans intérêt, augmente la vigilance/soporifique) et quatre éléments sont liés à la dimension de satisfaction (agréable/désagréable, divertissant/agaçant, plaisant/irritant, désirable/indésirable).

L'évaluation de l'acceptabilité du système peut être réalisée avant l'utilisation du système (acceptabilité *a priori*) puis suite à son utilisation (acceptation).

3.2 Méthode d'évaluation de la sécurité de la conduite avec des systèmes de régulation de la conduite dans les projets EuroFOT et LAVIA

L'évaluation de l'impact des systèmes de régulation de la vitesse repose sur deux grandes approches expérimentales de l'évaluation des impacts d'un système embarqué toutes deux basées sur l'observation d'une flotte de conducteurs. Une première approche, appelée *Naturalistic Driving Studies (NDS)* consiste à placer le conducteur en situation de conduite naturelle sans aucune consigne liée à l'usage des systèmes d'intérêt. Une analyse *a posteriori* des comportements permet d'identifier les périodes d'emplois des systèmes embarqués d'intérêts et d'en inférer les conditions d'emploi des systèmes, leur taux d'usage, et d'éventuels effets pervers. La seconde approche, appelée *Field Operational Test (FOT)*, consiste à comparer les comportements de conduite automobile entre une période de conduite sans utilisation du système embarqué d'intérêt avec une période d'utilisation du système embarqué étudié. Au niveau européen, cette approche est formalisée dans la méthodologie FESTA (FESTA Consortium, 2008). En pratique, l'analyse repose sur la définition et le calcul d'indicateurs représentatifs des comportements que l'on souhaite étudier. L'évolution de ces indicateurs selon l'emploi du système étudié, permet d'inférer l'impact à grande échelle de ce dernier. On notera que cette méthodologie est aussi bien adaptée à l'évaluation de l'impact sur la sécurité routière qu'à l'évaluation de l'impact environnemental.

L'étude de l'accidentalité ne permet pas de répondre de manière satisfaisante aux enjeux liés à l'impact des systèmes embarqués d'assistance à la conduite sur la sécurité routière. En effet, les accidents sont relativement peu nombreux et peuvent rarement être reliés directement à l'usage d'un système embarqué. Il faut donc se risquer à employer des méthodes d'extrapolation du risque global à partir de situations « dangereuses », observées en situation de conduite, préfiguratrices de situations accidentogènes, parfois assimilées à des « accidents évités ». Dans la méthode FESTA, il s'agit de caractériser puis de rechercher, et enfin compter, ces événements. Leur fréquence constituant un

indicateur de risque pertinent (Guo et al., 2010). Il est possible d'élargir la notion d'incident à d'autres événements moins critiques, comme les excès de vitesse par exemple. La fréquence des excès de vitesse peut servir à caractériser l'usage d'un système embarqué (cas de l'évaluation du limiteur de vitesse et du régulateur de vitesse dans le projet euroFOT traité dans les sections suivantes), mais peut aussi être corrélée au comportement de chaque conducteur dont il faut alors tenir compte dans la modélisation. . Pour une approche globale de ces différentes approches, le lecteur pourra se référer à Saint Pierre (2017) et à Benmimoun et al. (2010) pour la méthodologie du projet euroFOT.

Une autre approche pour évaluer l'impact des systèmes embarqués sur la sécurité routière repose sur des modèles statistiques permettant de relier les vitesses moyennes pratiquées à une fréquence d'accident. Ceux-ci dépendent du type de route étudié, mais ils sont aussi liés aux données utilisées pour les calibrer, et donc au pays les ayant produits. Pour une présentation exhaustive de l'ensemble de ces modèles dont le modèle de Nilsson (Nilsson 1982 ; Elvik et al., 2004), nous renvoyons le lecteur à l'étude de référence produite par Taylor et al. (2000) ainsi que ses mises à jour récentes (Imprialou et al., 2016).

Ces modèles très généraux sont applicables à l'étude des systèmes agissant sur la vitesse comme le régulateur ou le limiteur de vitesse. Toutefois, les expérimentations utilisant des véhicules instrumentés peinent à atteindre une représentativité statistique vu le faible effectif des conducteurs participants (quelques centaines tout au plus). L'emploi de ces approches pour évaluer l'impact des systèmes embarqués sur le nombre d'accidents et le nombre de tués n'est donc pas entièrement satisfaisante et peut mener à des conclusions erronées comme nous le verrons dans la suite de ce chapitre.

4 ACCEPTABILITE DES SYSTEMES DE REGULATION DE LA VITESSE

4.1 Limiteur de vitesse et régulateur de vitesse conventionnel

L'expérimentation euroFOT a permis d'estimer l'acceptabilité *a priori* et l'acceptation de ces deux systèmes. L'acceptabilité *a priori* était déjà très positive et l'utilisation des systèmes a confirmé cette tendance. En termes d'utilité, l'opinion des conducteurs a légèrement augmenté pour le limiteur de vitesse et fortement pour le régulateur de vitesse, tandis que la satisfaction a légèrement diminué pour le limiteur de vitesse et augmenté pour le régulateur de vitesse. De même, la confiance dans les deux systèmes était déjà positive avant leur utilisation. Pendant leur utilisation, elle s'est légèrement renforcée pour le limiteur de vitesse et très fortement pour le régulateur de vitesse, notamment en termes de fiabilité et de confiance dans le système. Les deux systèmes ont été considérés comme très utilisables par les deux tiers des conducteurs en termes d'accès aux informations visuelles, de manipulation des commandes et de gestion des interactions. La seule fonction qui ne recueille que la

moitié des avis positifs est l'accès au bouton marche/arrêt du système, qui n'est en effet pas facilement accessible dans les deux types de véhicules utilisés pour l'expérience. En termes de confort de la conduite, un tiers des conducteurs n'ont pas signalé de changement pour le limiteur de vitesse, la moitié a signalé une augmentation et les autres une dégradation. En termes de plaisir de conduire, la proportion de changements positifs est plus faible (35 %) et celle des négatifs est plus importante (37 %). Il est vrai que le limiteur de vitesse n'entraîne pas beaucoup de changement dans la conduite car il n'intervient que pour empêcher de dépasser une vitesse donnée. Cela peut entraîner des désagréments dans certaines situations (par exemple, lors de l'insertion sur une autoroute si le conducteur oublie de modifier la vitesse du système). Pour le régulateur de vitesse, les avis des conducteurs sont beaucoup plus positifs : 80 % rapportent une amélioration du confort, et 62 % un meilleur plaisir de conduire. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le système permet de décharger le conducteur d'une partie de la tâche de conduite, mais des analyses plus approfondies sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse. Que retient-on au final ? Quelques mots de synthèse. Le paragraphe est dense d'informations.

4.2 Régulateur adaptatif de la vitesse

Dans le cadre de l'évaluation du régulateur adaptatif de vitesse du projet EuroFOT, le niveau d'acceptabilité est élevé aussi bien en termes d'amélioration du confort de la conduite (77 % des conducteurs) que d'amélioration de la sécurité (94 % des conducteurs) sans différence significative entre l'évaluation avant utilisation et après utilisation. Ceci montre que les conducteurs avaient une opinion *a priori* positive sur ce système que son usage a confirmé car il répondait à leurs attentes. Cela a été corroboré par le fait qu'il n'y a pas eu de changements significatifs dans la satisfaction perçue et l'utilité au fil du temps de l'utilisation.

Les conducteurs ayant déclaré que le système était utile l'ont trouvé d'autant plus lors d'une utilisation en circulation normale, principalement sur les autoroutes mais aussi sur les routes rurales. En général, les conducteurs ont trouvé le système très facile à utiliser. Seuls des problèmes liés à l'information visuelle et les avertissements ont reçu des scores faibles. (Sanchez et al., 2012).

4.3 Adaptation intelligente de la vitesse

Une expérimentation menée en 2006 (Pianelli, 2008) a permis de mesurer l'acceptabilité de trois versions d'un système d'adaptation intelligente de la vitesse, une version informative, une version active volontaire (débrayable) et une version active contrainte (non débrayable). Bien que de 70 % à 90 % des conducteurs aient perçu les trois versions comme utiles aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural ou sur autoroute, seule la version informative est celle pour laquelle les participants sont majoritairement favorables à l'installer dans leur véhicule (plus de 70 % d'entre eux) tandis que les

volontés d'installation des versions actives tombent à 45 % pour la version volontaire et à 38 % pour la version contrainte. Ces différences sont plus importantes pour les cinq dimensions relatives à la conduite : facilité, plaisir de conduire, sécurité, confort et agréabilité.

5 IMPACTS DES SYSTEMES DE REGULATION DE LA VITESSE SUR LA SECURITE DE LA CONDUITE

5.1 Limiteur de vitesse et régulateur de vitesse conventionnel

L'estimation des effets de ces systèmes sur la sécurité routière reposant en partie sur l'étude de la fréquence d'occurrence d'événements à risque, le projet euroFOT a considéré les événements suivants : les excès de vitesse (plus de 4 km/h au-dessus de la VMA pendant au moins 10 secondes, les excès de jerk⁴ (jerk supérieur à 1 m/s³), le temps inter-véhiculaire critique (temps inter-véhiculaire inférieur à 0.5 s), le freinage brusque (accélération inférieure à - 6 m/s²). Ainsi il a pu être mis en évidence que lorsque le limiteur de vitesse est activé, l'occurrence d'un dépassement de vitesse est divisée par deux sur les infrastructures avec une limitation de vitesse supérieure ou égale à 90 km/h, tandis que le nombre des freinages brusques diminue de 30 % . Cependant, il n'y a pas été constaté d'effet significatif sur l'occurrence des jerks excessifs et des temps inter-véhiculaires critiques. Dans le cas du régulateur de vitesse, son utilisation entraîne à l'inverse une forte augmentation de l'occurrence des excès de vitesse sur les zones limitées à 50 et 90 km/h, mais les occurrences des jerks excessifs, des temps inter-véhiculaire critiques et des freinages brusques sont divisées par trois. Ce résultats n'est pas surprenant dans la mesure où le régulateur est rarement utilisé en heures de pointes.

L'extrapolation du risque d'accident peut se faire à partir de l'évolution de la vitesse moyenne. Dans notre cas, la vitesse moyenne de circulation ne peut pas se déduire uniquement des instants où le système est activé, car il nous manque dans ce cas un élément de comparaison (la vitesse moyenne dans des conditions de conduite équivalentes, à savoir la même route mais sans aucun système activé). La comparaison proposée consiste à mettre en rapport la vitesse moyenne pendant la période où le système était disponible (mais activé selon la volonté du conducteur) avec la période où le système n'était pas disponible (désactivé). Lors du test de ces systèmes dans le cadre du projet européen euroFOT on a observé une concentration des vitesses autour de la vitesse maximale autorisée (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) bien plus marquée avec le CCC activé, et une augmentation faible mais significative de la vitesse moyenne de circulation chez les conducteurs ayant ces systèmes disponibles (Tableau 1). Le premier effet améliore la sécurité de conduite grâce à une meilleure homogénéité des vitesses, tandis qu'à l'inverse le second effet observé, par l'application du modèle puissance de Nilsson

⁴ En physique, dérivée du vecteur accélération par rapport au temps (soit la dérivée troisième par rapport au temps du vecteur position)

(voir plus haut), conduit à postuler une dégradation globale de la sécurité en termes d'accidents projetés. Il faut dès lors tenir compte des conditions d'usages, et ainsi observer que les effets plus marqués lors de l'usage du CCC sont essentiellement observés sur autoroutes en situation de trafic libre, c.à.d. en situations peu risquées.

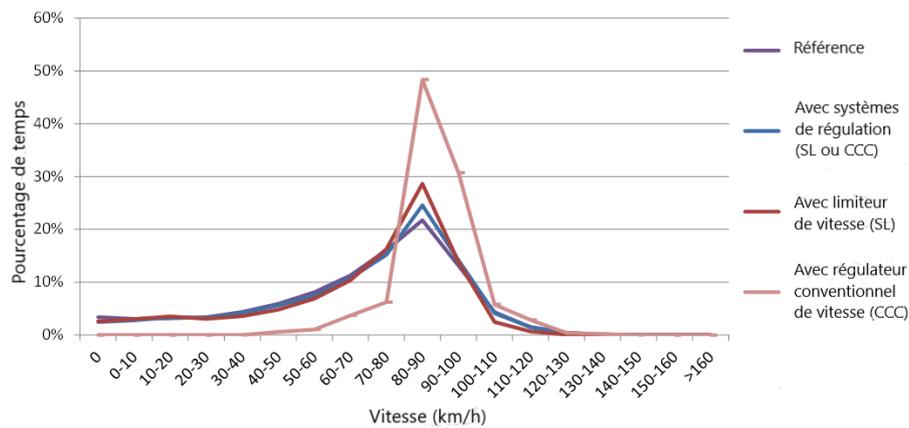


Figure 1 : Distribution des vitesses observées pour les conducteurs de EuroFOT sur les zones limitées à 90km/h selon les périodes 1-Sans aucun système disponible, 2- avec SL ou CC disponibles (activé ou non), 3-SL activé, et 4-CCC activé. (Référence ; projet EuroFOT, Faber et al., 2012) ;

Tableau 1: Evaluation des effets globaux du limiteur de vitesse et du régulateur de vitesse conventionnel sur la vitesse moyenne en comparant les périodes où ils étaient disponibles sans être constamment activés, avec les périodes où ils n'étaient pas disponibles (toutes limitations de vitesse confondues).

| | Zone urbaine | Zone rurale | Autoroute |
|---------------------------------|--------------|-------------|-----------|
| Evolution de la vitesse moyenne | + 1,4 % | + 0,8 % | + 2,4 % |

Ainsi, le projet euroFOT a permis de mettre en évidence des effets peu marqués et susceptibles de se compenser. Il n'a pas non plus été constaté de présence d'effets négatifs imprévus sur la conduite (perte d'attention ou autre). En conséquence, ce projet Européen a conclu à des effets faibles ou inexistantes sur la sécurité routière lorsque les véhicules sont équipés d'un système de régulation de la vitesse. Il a conduit à affirmer que le limiteur de vitesse est un outil pertinent pour aider le conducteur à maîtriser son niveau de risque en l'aidant à respecter les limitations, tandis que le régulateur est un outil de confort utilisé en situation de faible risque engendrant parfois une conduite plus rapide et plus risquée.

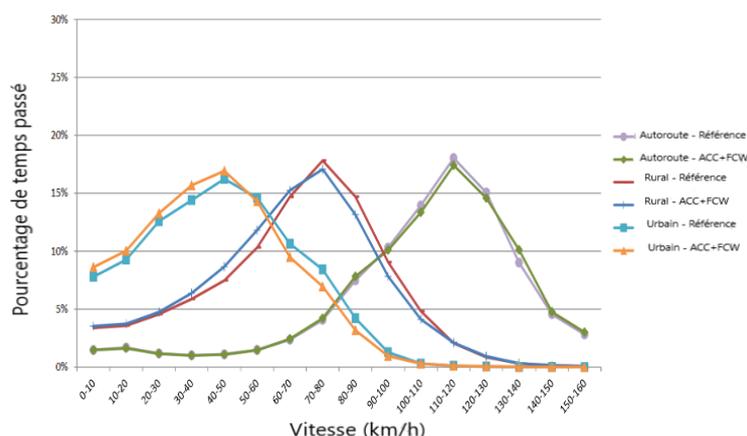
Enfin, l'ensemble des résultats obtenus lors du projet EuroFOT (Malta et al., 2012) ont permis d'attester des comportements suivants lors de l'usage de ces deux systèmes.

- Le limiteur de vitesse est utilisé sur tous les types de réseau routier, plutôt dans des conditions où le respect des limitations semble prioritaire pour assurer une conduite en sécurité (faible limitation de vitesse, pluie, nuit).
- Le régulateur est plutôt utilisé sur les routes avec une limitation de vitesse élevée, ou avec des conditions de faible trafic. On peut conjecturer que ces situations sont perçues comme permettant une vitesse stable et plutôt élevée sans détériorer le niveau de sécurité.

Les résultats obtenus soutiennent que les deux systèmes diminuent globalement l'occurrence d'événements à risque, avec la nuance que l'on constate néanmoins une augmentation de l'occurrence des épisodes d'excès de vitesse lors de l'usage du régulateur de vitesse conventionnel. Ces deux systèmes apparaissent globalement neutres en termes de sécurité de la conduite, et à ce jour aucun effet significatif n'a pu être observé sur l'accidentalité globale, même s'ils participent sans aucun doute à la tendance globale à l'amélioration de la sécurité des véhicules.

5.2 Régulateur adaptatif de la vitesse

Très peu d'études en conditions réelles traitent des systèmes adaptatifs de régulation de la vitesse (*Automatic Cruise Control, ACC*). L'étude internationale de référence est le projet euroFOT qui a permis de tester à grande échelle un tel système, combiné à un système d'alerte anti-collision. L'étude de son impact sur la sécurité routière procède selon une méthodologie équivalente à celle décrite plus haut pour le limiteur et le régulateur de vitesse. Ainsi, l'usage du régulateur induit une augmentation des temps inter-véhiculaires de 16 %, une réduction de 75 % des situations avec des temps inter-véhiculaire critiques, et une diminution de 67 % des événements de freinages brusques. Ces effets sont attendus pour une telle combinaison de systèmes dont le but est de réduire ce type de situations.



| | Zone urbaine | Zone rurale | Autoroute |
|---------------------------------|--------------|-------------|-----------|
| Evolution de la vitesse moyenne | - 0,2 % | - | - 0,3 % |

Tableau XXX2 : Evaluation des effets du limiteur du régulateur de vitesse adaptatif (ACC) associé à un système d'alerte de collision (Forward Collision Warning – FCW) : a) Distribution des vitesses observées lors des périodes où les aides à la conduite (ACC et FCW) étaient disponibles comparées à celles où elles n'étaient pas disponibles (Référence ; projet EuroFOT, Faber et al., 2012) ; b) Evaluation des effets globaux du régulateur de vitesse adaptatif associé à un système d'alerte de collision sur la vitesse moyenne en comparant les périodes où ils étaient disponibles avec les périodes où ils n'étaient pas disponibles.

Les effets sur la vitesse moyenne ne sont pas significatifs (Tableau XXX2), et la fréquence des excès de vitesse n'a pas été étudiée dans cette étude menée en Allemagne (Faber et al., 2012). Sur la base de ces résultats, et en supposant que les indicateurs étudiés sont bien liés à la sécurité routière, les projections à l'échelle européenne concluent qu'un système de régulation adaptatif combiné à une alerte anti-collision pourraient réduire de 2 à 6 % la fréquence des accidents sur autoroutes.

5.3 Adaptation intelligente de la vitesse

La version française d'un système d'adaptation intelligente de la vitesse, le LAVIA, a été testée sur route ouverte dès 2004 pour les trois modes de fonctionnement (informatif, actif volontaire et actif contraint).

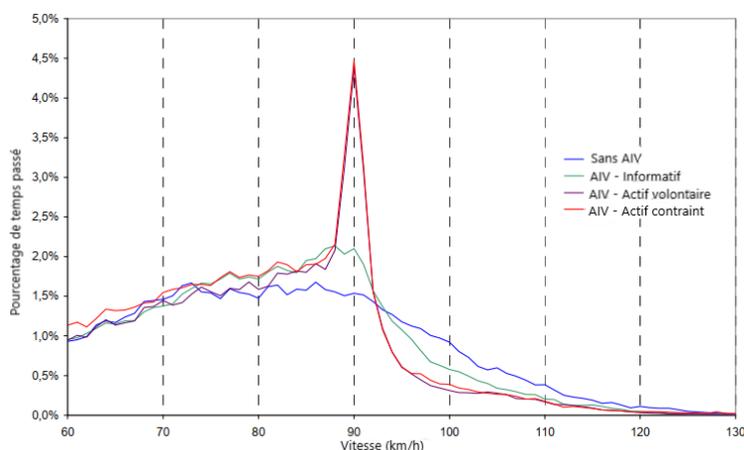


Figure 3 : Evaluation des effets d'un système d'Adaptation Intelligente de la Vitesse (AIV) selon les différents modes de fonctionnement (informatif, actif volontaire ou actif contraint) sur des routes limitées à 90 km/h : Distribution des vitesses observées selon les différents modes de fonctionnement (projet LAVIA ; Ehrlich, 2009).

Comme pour les autres systèmes de régulation de la vitesse, il est possible d'utiliser la fréquence d'occurrence d'événements à risque comme mesure de substitution du risque routier, et notamment l'occurrence des excès de vitesse. En effet, il est possible d'observer deux types d'excès de vitesse même lors du mode contraint :

- Un excès de vitesse involontaire lié à l'arrivée sur une section de route avec une vitesse maximale autorisée inférieure à celle de la section de route précédente, entraînant une coupure de l'injection et une réduction progressive de la vitesse régulée.
- Un excès de vitesse volontaire lié à l'utilisation par le conducteur du dispositif de désactivation du système (utilisation du *kick-down*).

Si l'on considère uniquement les dépassements de vitesse excessifs, définis par un dépassement de plus de 4 km/h de la vitesse autorisée, et d'une durée supérieure à 10 s. Le mode d'utilisation contraint du LAVIA entraîne alors une diminution significative de la probabilité d'occurrence d'un excès de vitesse (- 44 %).

A l'inverse, concernant l'effet des limitations de vitesse, les zones ayant une limitation inférieure ou égale à 90 km/h sont associées à des observations plus fréquentes de dépassements de vitesses volontaires comparées aux zones limitées à 110 km/h. Cela signifie que les conducteurs ont une propension plus grande aux excès de vitesses volontaires pour les routes où la limitation de vitesse est inférieure ou égale à 90 km/h. Ces résultats apportent une preuve statistique que le système LAVIA en mode contraint réduit significativement la probabilité d'un excès de vitesse volontaire.

Le système LAVIA a fait également l'objet de plusieurs études liées à son impact potentiel sur l'accidentolalité. Les systèmes de type ISA et le LAVIA en particulier ne conduisent pas à une réduction significative de la vitesse moyenne de circulation, mais en réduisent fortement la dispersion lors de l'utilisation des modes contraints. S'il est hasardeux de tirer des conclusions à partir de la vitesse moyenne, les effets positifs en termes d'accidentalité seraient pour l'essentiel dûs à une diminution de la variabilité des vitesses de circulation (Figure 3). Ainsi, pour le mode actif contraint, les résultats obtenus par modélisation (Driscoll et al., 2007) font état d'une réduction potentielle du nombre de morts allant de 8 à 17 % selon le type d'accident et de réseau, et pour un taux d'équipement de 100 %.

6 SYSTEMES EMBARQUES ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Bien que n'étant pas destinés à générer des économies d'énergies, les systèmes de régulation de la vitesse peuvent néanmoins générer indirectement un comportement de conduite vertueux. De ce point de vue, les avantages apportés par ces systèmes en termes de consommation de carburant résulteraient d'une moindre variabilité des vitesses pratiquées induisant un trafic routier plus fluide si le taux de pénétration est important. Les bénéfices environnementaux restent néanmoins marginaux, inférieurs à 1 % pour le limiteur et le régulateur et inférieurs à 2% pour le régulateur adaptatif et les systèmes d'adaptations intelligents (AIV). On pourra se référer à Faber et al. (2012) pour les résultats

détaillés du projet euroFOT, et Saint Pierre & Ehrlich (2008) et Carsten et al. (2008) pour des résultats comparables sur les expérimentations de systèmes AIV.

7 CONCLUSION

L'évaluation de l'acceptabilité et de l'impact des systèmes embarqués de régulation de la vitesse présentés dans ce chapitre est basée sur des études en situations réelles de conduite. Elles ont l'avantage de tester ces systèmes dans différentes conditions de circulation sur l'ensemble des réseaux. Par contre, elles sont réalisées sur un nombre restreint de conducteurs qui ont accepté d'être enregistrés ce qui peut amener un biais dans le panel.

Les systèmes ont été perçus comme étant utiles, améliorant la sécurité et le plaisir de conduire par la plupart des conducteurs en particulier sur l'autoroute. Par contre, ils doivent être débrayables pour être perçus comme une aide à la conduite et non comme un contrôle. Enfin, la confiance dans ces systèmes dépend de leur fiabilité. Il n'est donc pas possible de transférer l'évaluation de l'acceptabilité d'un système donné à un autre : elle doit être mesurée pour chaque système. Le système AIV dont seront équipés tous les véhicules neufs du marché européen en 2022 pourront être débrayables ce qui est en faveur de leur acceptabilité. Néanmoins, il semble que les résultats les plus prometteurs en termes de sécurité routière concernent les systèmes non débrayables.

L'impact de ces systèmes sur la sécurité routière est difficile à évaluer autrement que par des moyens détournés, à partir de modèles d'extrapolation du risque s'appuyant sur les vitesses, et des mesures indirectes, comme la fréquence de certains événements risqués. Bien que leurs effets soient peu significatifs sur les vitesses pratiquées, plusieurs résultats confortent la possibilité d'effets positifs indirects associés à un comportement plus respectueux des règles de sécurité comme un meilleur respect des distances de sécurité, des dépassements de vitesses ou des freinages brusques plus rares, et des vitesses plus homogènes.

Le déploiement de ces systèmes a franchi une nouvelle étape en 2022 avec la généralisation des systèmes AIV à tous les nouveaux véhicules légers, et ce, plus de 15 ans après les études d'impacts. Les autres systèmes de régulateurs sont devenus des équipements systématiques pour les véhicules récents, et sont plébiscités par les utilisateurs. Sans pour autant provoquer une diminution majeure des accidents, ces systèmes participent néanmoins directement et indirectement à une conduite plus apaisée et prudente, contribuant ainsi à une augmentation globale de la sécurité routière.

8 BIBLIOGRAPHIE

1. Benmimoun M., Ljung Aust M., Faber F., Saint Pierre G., Zlocki A., (2011), « Safety analysis method for assessing the impacts of advanced driver assistance systems within the European large scale field test "euroFOT" », European congress on intelligent transport systems, ITS2011, Lyon.
2. Carsten, O.; Lai, F.; Chorlton, K.; Goodman, P.; Carslaw, D. & Hess, S. "Speed Limit Adherence and its Effect on Road Safety and Climate Change", University of Leeds, 2008
3. Elvik, R., Christensen, P., & Amundsen, A. (2004). Speed and road accidents : An evaluation of the Power Model (TOI report N° 740/2004; p. 134). Institute of Transport Economics. www.trg.dk/elvik/740-2004.pdf
4. Ehrlich, J. Towards ISA deployment in Europe: state of the art, main obstacles and initiatives to go forward, Proceedings from the 2009 Intelligent Speed Adaptation Conference, 2009.
5. Faber F., et al. (2012), « Final results: Impacts on traffic efficiency and environment », livrable D6.5 du projet euroFOT (FP7)
6. FESTA Consortium. (2008). Field Operational Test Support Action (FESTA) Handbook Deliverable no. D6.4. pp 97.
7. Guo, F., Klauer, S., Hankey, J., Dingus, T., (2010), "Near crashes as crash surrogate for naturalistic driving studies", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2147, pp 66-74, Transportation Research Board of the National Academies.
8. Guo F, Klauer SG, Hankey JM, Dingus TA. Near Crashes as Crash Surrogate for Naturalistic Driving Studies. Transportation Research Record. 2010; 2147(1):66-74. doi:10.3141/2147-09
9. Imprialou, M-I, Quddus, M., Pitfield, D. E., Lord, D. (2016), Re-visiting crash-speed relationships: A new perspective in crash modelling, Accident Analysis & Prevention, Volume 86, 2016, Pages 173-185, ISSN 0001-4575, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.001>.
10. Malta L., et al. (2012), « Final results: Impacts on traffic safety », livrable D6.4 du projet euroFOT (FP7), 215 pages
11. Nilsson, G. (1982). Effects of speed limits on traffic accidents in Sweden. Swedish National Road and Transport Research Institute. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-2236>
12. Pianelli C., Saad F. Acceptabilité du LAVIA. Erlich, J. (Ed.), Carnet de route du LAVIA. Limiteur s'adaptant à la vitesse autorisée, PREDIT, p47-52, 2006. hal-00542631
13. Saint Pierre G., Ehrlich J. (2008), "Impact of Intelligent Speed Adaptation systems on fuel consumption and driver behaviour", 15th World Congress on Intelligent Transport Systems.
14. Saint Pierre, G. Habilitation à diriger des recherches. Évaluation de l'impact des systèmes de transports intelligents. Statistique [math.ST]. Université d'Evry-Val-d'Essonne, 2017. (tel-01670569)

15. Sanchez D. et al. (2012), « Final results: User acceptance and user-related aspects », livrable D6.3 du projet euroFOT (FP7), 427 pages, https://www.eurofot-ip.eu/download/library/deliverables/eurofotsp620121119v11dld63_user_acceptance_and_userrelated_aspects.pdf.
16. Taylor, M. C., Lynam, D. A., & Baruya, A. (2000). The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. Crowthorne: Transport Research Laboratory.
17. Van Der Laan, J. D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0968-090X\(96\)00025-3](https://doi.org/10.1016/S0968-090X(96)00025-3)
18. Xiao, L., & Gao, F. (2010). A comprehensive review of the development of adaptive cruise control systems. *Vehicle System Dynamics - VEH SYST DYN*, 48, 1167-1192. <https://doi.org/10.1080/00423110903365910>

9 COURTE BIOGRAPHIE POUR CHACUN DES AUTEURS

Guillaume Saint Pierre est chargé de recherche HDR dans l'équipe recherche « Systèmes de transports intelligents » du Cerema. Ses recherches portent sur l'évaluation multicritère des effets des systèmes de transports intelligents. Elles ont été menées dans le cadre de projets internationaux et s'inscrivent dans le domaine de la statistique appliquée et du traitement du signal.

Hélène Tattegrain est directrice du Laboratoire Lescot dans le département TS2 de l'UGE, membre du comité d'experts du CNSR. Elle travaille sur l'identification des situations critiques liées à l'introduction des véhicules autonome, la conception centrée sur l'utilisateur, les technologies adaptatives, l'analyse du comportement des conducteurs et de l'impact des systèmes dans des conditions expérimentales et naturelles et a été impliquée dans plusieurs projets européens et nationaux.

Lara Désiré est chargée de recherche dans l'équipe recherche « Psychologie Appliquée" du Cerema. Ses recherches portent sur l'interaction de l'utilisateur avec l'environnement routier au travers de la mesure et de l'analyse du comportement de l'utilisateur en s'appuyant sur les modèles du fonctionnement du comportement humain et plus particulièrement à l'influence des mécanismes attentionnels.