



HAL
open science

Mobilité 4.0 et ergonomie cognitive. Penser l'humain dans un environnement autonome et connecté

Céline Lemerrier

► **To cite this version:**

Céline Lemerrier. Mobilité 4.0 et ergonomie cognitive. Penser l'humain dans un environnement autonome et connecté. JECIS, Jean-Sébastien Vayre; Gérald Gaglio; Manuel Boutet; Lise Arena, Jun 2022, Nice, France. hal-03760371

HAL Id: hal-03760371

<https://hal.science/hal-03760371>

Submitted on 4 Oct 2022

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.

Mobilité 4.0 et ergonomie cognitive

Penser l'humain dans un environnement autonome et connecté

Céline Lemerrier

Résumé. Le 21^{ème} siècle ouvre la 4^{ème} révolution industrielle, celle du numérique. L'intelligence artificielle s'introduit dans l'ensemble des activités humaines. Aujourd'hui sous la supervision unique et exclusive de l'humain, demain l'activité de conduite sera d'abord partagée avec, puis sous la supervision unique d'une intelligence artificielle. Cette automatisation des véhicules s'accompagnera également de profondes modifications de l'espace routier, devenant lui-même autonome et connecté. Ici, se confrontent deux visions du développement technologique. La première, centrée sur la technologie, considère que les humains doivent s'adapter aux modifications dans leur mobilité quotidienne provoquées par les solutions technologiques développées. Dans cette perspective, l'intelligence se partage entre les agents intelligents artificiels interconnectés. L'humain, s'il n'est pas équipé (téléphone-, montre-connectée), est hors de la boucle de décision. L'intelligence artificielle « fait sans » l'intelligence humaine, impliquant *a minima* une incompréhension quant à l'utilité et à l'utilisabilité des technologies développées au pire à leur rejet. La seconde, centrée sur l'humain, considère plutôt que les agents intelligents doivent s'adapter aux besoins et contraintes des utilisateurs finaux. Cette fois, l'intelligence est partagée entre l'humain et les agents numériques, l'humain prend part à la décision. L'intelligence artificielle « fait avec » l'intelligence humaine, impliquant des solutions technologiques développées pour répondre aux besoins, attentes et contraintes de l'humain. La psychologie cognitive et ergonomique, adoptant une approche expérimentale de l'interaction humain-systèmes intelligents, questionne l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité des systèmes

Mobilité 4.0 et ergonomie cognitive

intelligents de mobilité d'une part et préconise le développement d'interfaçages adaptés à l'humain. Dans ce chapitre, nous exposerons les enjeux de l'entrée dans l'ère de la mobilité 4.0 pour l'ergonomie et plus généralement pour les sciences de l'homme et de la société.

Mots-clés. Intelligence artificielle, mobilité 4.0, ergonomie cognitive, utilité, utilisabilité, acceptabilité.

S'intéresser à l'impact de l'ergonomie cognitive sur la mobilité 4.0 nécessite en premier lieu de définir ce que sous-tend la mobilité 4.0. C'est noter en premier lieu le glissement conceptuel opéré ces dernières années de l'intérêt pour le média de déplacement « moyen de transport » à l'intérêt pour l'acte de déplacement « la mobilité ». C'est donc passer d'une approche structurale, systémique à une approche fonctionnelle de la mobilité, où l'ensemble des systèmes interfacés avec l'humain ont comme vocation première celle d'être au service de l'entité en déplacement. Cette mobilité 4.0 correspond à la révolution opérée dans la mobilité des biens et des personnes à l'âge du numérique. Dans le cadre de ce chapitre, nous centrerons notre propos sur la mobilité terrestre et urbaine. Le développement de l'automatisation et de la connectivité est à l'origine des grands bouleversements que l'humain découvre à peine. Parmi les plus significatifs, l'émergence de la voiture autonome révolutionne le rapport de l'humain avec la voiture, qu'il en soit le conducteur, le passager ou encore le passaducteur ou drivenger mais qu'il soit également piéton, cycliste et plus généralement autre usager de la route. Porté initialement par les sciences de l'ingénieur, l'idéation et le développement des artefacts innovants qui font l'objet de ce chapitre sont avant tout à penser comme des solutions technologiques à des problématiques humaines. Pensées par des ingénieurs dans une visée centrée sur la technologie, ces solutions présentent des contraintes pour l'humain dans leur usage qui, si elles ne sont pas réfléchies par les sciences humaines, pourraient induire leur rejet. Nous verrons, sur la base d'exemples, en quoi l'ergonomie cognitive s'avère un atout majeur dans l'innovation dans la mobilité 4.0.

D'après un rapport du National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA) en 2016, environ 95 % des accidents de la route seraient le fait d'une erreur humaine. Le développement de l'autonomisation des véhicules constitue donc la réponse que les industriels ont apporté pour contrer l'influence délétère de l'action de l'humain sur la sécurité routière. Dans une visée purement techno-centrée, en supprimant de la boucle de la conduite l'humain, on éliminerait de fait la quasi-totalité des accidents de la route. On permettrait par ailleurs de maintenir mobile et autonome les personnes fragiles, comme les personnes âgées. Pour que cette belle promesse puisse voir le jour, il est nécessaire que le niveau d'autonomie du parc automobile s'accroisse et qu'émergent des mobiliers urbains connectés. Il est également impératif que d'un enjeu technologique, la voiture autonome et connectée devienne un enjeu humain, qu'elle soit ainsi conçue au service de l'humain, dans la connaissance des compétences et connaissances immédiates et à plus long terme de ce dernier. C'est tout l'enjeu que relève avec d'autres équipes à travers le monde le Toulouse Innovative Mobilities Human factors-Lab (TIMH-Lab) de l'UMR CNRS CLLE. Après une rapide définition de la voiture autonome, nous poserons les problématiques majeures posées par ces nouveaux véhicules pour l'humain et les pistes de réflexion et de solutions envisagées.

Automatisation des véhicules et redéfinition du rôle de l'humain derrière le volant

Les différents niveaux d'automatisation des véhicules

La Society of Automotive Engineers (SAE Levels of Driving Automation, 2018) a défini six niveaux d'automatisation des systèmes de conduite autonome allant du niveau 0 (sans assistance, telle la 2CV) au 5 (automatisation totale). La figure 1 présente les différents niveaux d'automatisation du véhicule. Jusqu'au niveau 2, l'activité de conduite est sous la supervision unique de l'humain. Au niveau trois, un basculement de la supervision opère entre l'humain et le système autonome. A partir du niveau 3 d'automatisation, c'est le système autonome qui devient responsable de l'activité de conduite lorsqu'il conduit. Comme nous le verrons dans la suite, tout l'enjeu de l'automatisation accrue des véhicules réside en effet dans la réussite du basculement de statut de ce dernier.

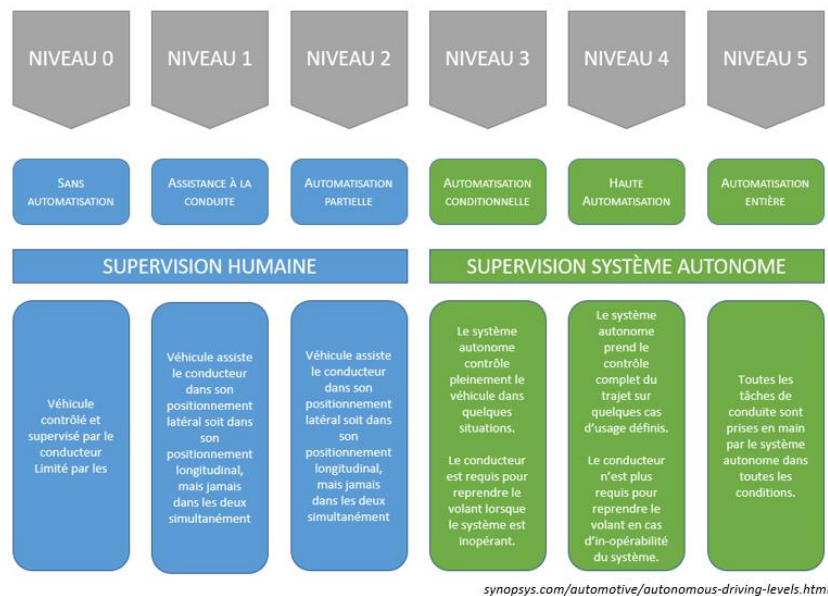


Figure 1. Description des différents niveaux d'automatisation des véhicules tels que définis par la SAE (d'après, Fayyad, Jaradat, Gruyer 4 & Najjaran, 2020).

Au niveau 0 d'automatisation, la voiture n'intègre aucun système d'aide ou d'assistance à la conduite. Il s'agit de voitures telle la 2CV. Au niveau 1 d'automatisation, la voiture intègre des systèmes d'aide et/ou d'assistance simple. Ces systèmes sont qualifiés de simples dans le sens où leur action est circonscrite à leur fonction. Prenons le cas du régulateur de vitesse simple.

Lorsqu'il est activé, le régulateur maintient une vitesse de conduite déterminée par le conducteur. Tant que le conducteur ne désactive pas le régulateur, celui-ci maintiendra la vitesse de conduite. Au niveau 2 d'autonomisation, la voiture intègre des systèmes d'aide et d'assistance intelligents. Ces systèmes sont qualifiés d'intelligents dans le sens où ils communiquent les uns avec les autres pour moduler leurs paramètres. Reprenons l'exemple du régulateur de vitesse de conduite. Il est désormais intelligent. Sur la base des informations fournies par les capteurs de distance inter-véhiculaire placés sur l'avant du véhicule, il détectera l'approche d'un obstacle à l'avant. A partir de là, soit il enclenchera une alerte, soit il régulera seul la vitesse, soit enfin il se désactivera. La communication entre le régulateur de vitesse et les capteurs de positionnement latéral sur la voie permettent au système autonome de conduire sur des durées très courtes (de l'ordre de la minute) sous la supervision du conducteur qui garde les mains sur le volant. Aux niveaux 3 et 4 d'autonomisation, la voiture intègre suffisamment de systèmes intelligents interconnectés pour permettre au système intelligent central du véhicule de le conduire en autonomie sur des distances longues dans des contextes de visibilité favorables. Les aléas climatiques (brouillard), les imperfections de la route (effacement des lignes blanches, virages serrés), sont des facteurs entraînant une désactivation du système. Le développement technologique assure que le système autonome sera en mesure de détecter l'imminence de sa désactivation dans les 10 secondes précédant son effectivité. Si cette fonctionnalité relève de l'exploit technologique, il s'avère que pour l'humain, reprendre le volant en 10 secondes alors même qu'il était engagé attentionnellement dans une autre tâche, relève d'une manœuvre d'urgence, impliquant de commuter rapidement d'une tâche à l'autre dans un contexte à fort enjeu sécuritaire et donc impliquant un niveau de stress important. Pour le niveau 4 d'autonomisation, la massification des matériels urbains connectés et le renouvellement du parc automobile assureront une plus grande connectivité du véhicule avec son environnement et les autres véhicules. Entre autres choses, la connectivité du véhicule permettra d'informer l'humain derrière le volant d'aléas variés sur la route (dégradation météorologique, accident, etc.) bien en amont de son propre positionnement, lui permettant de replanifier au besoin son trajet. La connectivité accrue des véhicules permettra enfin d'éviter à l'humain les manœuvres de reprise de l'activité de conduite en urgence. Le niveau 5 enfin est l'aboutissement du processus d'autonomisation des véhicules, capable de mener à bien l'activité de conduite sur n'importe quelle route. A ce niveau d'autonomisation, la voiture ne sera plus dotée d'aucun artefact permettant à l'humain de la conduire.

Entre le niveau 0 et le niveau 5, l'humain derrière le volant (jusqu'au niveau 4) va en conséquence connaître un profond bouleversement dans son statut d'acteur de l'activité de conduite. L'accompagnement de cette révolution passe par la compréhension des facteurs impliqués par l'autonomisation croissante de la conduite. Pour l'humain derrière le volant, le basculement s'opère

entre le niveau 2 et le niveau 3 d'autonomisation. Jusqu'au niveau 2, l'activité de conduite reste dévolue à l'humain derrière le volant, qui en assure les trois niveaux d'habileté nécessaires à l'accomplissement de l'activité de conduite : stratégique, opératoire et de contrôle (Michon, 1979). Bien que progressivement assisté par des systèmes, il assure en continu, les trois tâches dévolues à son activité : **le guidage** qui consiste à maîtriser le positionnement tant latéral (sur sa voie) que longitudinal (vitesse, accélération, freinage, distances inter-véhiculaire) du véhicule sur la route ; **la navigation** qui consiste à identifier dans l'environnement des indices permettant de se situer et ainsi de déterminer le chemin à suivre pour arriver à destination, et enfin **l'identification des risques** reposant sur le recueil des indices sur la route elle-même (état de la chaussée) le contexte routier (le trafic), et les autres usagers (Stanton et al., 2001). L'activité de conduite est continue, dynamique et complexe. A partir du niveau 3 et jusqu'au niveau 4 d'autonomisation, les cartes sont rebattues. L'activité de conduite, tout en maintenant pour l'humain ses caractéristiques classiques de dynamisme et de complexité, revêt pour lui de nouvelles difficultés liées à son caractère intermittent et partagé. Le niveau 5 est dans la continuité de l'avancée technologique. Le système autonome ou autopilote supervisant pleinement les trois tâches relatives à l'activité de conduite, fait de l'humain un passager à temps plein du véhicule autonome.

Avec les véhicules de niveau 3, l'humain derrière le volant devient un passaducteur ou drivenger

De conducteur, l'individu derrière le volant passera, au niveau 3 d'autonomisation, au rôle de passaducteur. Ce concept de passaducteur ou drivenger résume les statuts alternants de conducteur et de passager qu'il endossera sur un parcours routier (Lemerrier, 2021). Finalement, cette nouvelle définition implique d'interroger l'acceptabilité de la voiture autonome non seulement par le conducteur mais aussi par le passager. Pour le conducteur, il s'agit de rendre acceptable l'interaction avec le système de conduite autonome dans le passage de relais entre la conduite autonome et la conduite manuelle. La problématique centrale ici relève donc de la prise en compte des besoins, attentes et contraintes de l'humain dans sa performance de reprise du volant et de conduite manuelle. Pour le passager, il s'agit là encore de rendre acceptable l'interaction avec le système autonome dans la manœuvre de lâcher-prise de la période où le système autonome conduit. Cette fois, la problématique centrale ne porte plus sur le comportement cognitif du passaducteur, mais plutôt sur son comportement émotionnel, son bien-être dans l'habitacle automobile. Si les études ont massivement traité de la question de l'interaction du

conducteur avec la voiture autonome, la question de son bien-être en tant que passager reste à peine explorée.

Avec l'émergence des véhicules semi-autonomes (niveau 3 et 4), l'activité de conduite inclura quatre temps ou périodes successives, impliquant chacune des tâches très différentes pour le passaducteur (Figure 2). La période 1, de conduite manuelle, répond en tout trait aux caractéristiques de l'activité de conduite telle que nous la connaissons aujourd'hui. La période 3, de conduite autonome fait de l'humain derrière le volant un passager. Les deux autres périodes sont plus critiques dans le sens où elles intègrent un passage d'un statut à l'autre de l'humain derrière le volant. La période 2, de lâcher-prise, concerne la possibilité offerte par le système autonome de lui laisser conduire le véhicule et de s'adonner alors à d'autres tâches. Ce nouveau statut de l'individu derrière le volant n'intéresse actuellement que très anecdotiquement les industriels et les chercheurs, alors même qu'elle pose la relation de confiance a priori de l'humain dans le système. La période 4, de reprise de l'activité de conduite manuelle, est cette fois beaucoup plus documentée. Elle concerne la reprise de l'activité de conduite par l'humain. Cette reprise peut être soit initiée par l'humain soit nécessitée par l'inopérabilité du système à conduire. Dans ce dernier cas, et pour un niveau 3 d'autonomisation, l'humain a environ 10 secondes pour reprendre le volant, alors même qu'il lisait un livre, regardait un film passionnant ou encore jouait en ligne à MarioKart, et ce, quel que soit son âge, son niveau d'expertise au volant, ou encore sa familiarité avec l'usage des IHM. Passé ce délai, la voiture s'arrêtera sur sa voie. Au niveau 4 d'autonomisation, la voiture se garera sur le bas-côté.

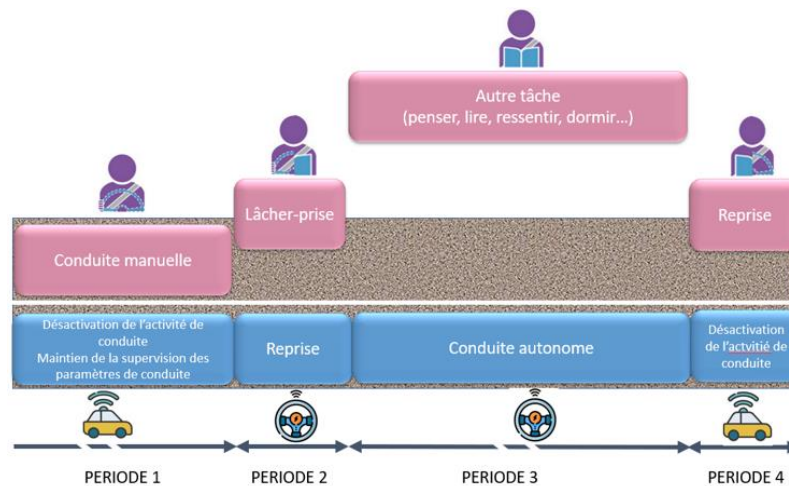


Figure 2. Les quatre périodes critiques de l'activité de conduite en temps partagé entre le passaducteur et le système de conduite autonome. Les périodes 2 et 4 sont considérées comme critiques pour l'humain. La période 2 de lâcher-prise implique de prendre la décision de laisser le véhicule autonome conduire et d'accepter de devenir

passager. La période 4 implique de reprendre l'activité de conduite soit volontairement, soit du fait de l'inopérabilité à la conduite imminente du système. L'attention et les préoccupations du passaducteur alternent entre besoin de bien-être dans l'habitacle automobile et contrainte de performance au moment de la reprise de l'activité de conduite et après. A contrario, le système autonome qu'il conduise le véhicule ou qu'il ne le conduise pas maintient la supervision des paramètres de conduite sur la durée du parcours routier.

La reprise de l'activité de conduite manuelle

« Vous avez 10 secondes pour reprendre le volant »... Voilà une heure que vous êtes installé confortablement sur votre siège à regarder le dernier épisode de votre série favorite, quand soudain, le système de conduite autonome émet cette alerte signifiant sa désactivation imminente...10. Lorsque vous avez déclenché l'autopilote (ou système de conduite autonome), le ciel était bleu, la météo favorable. Vous levez le nez de votre tablette, le temps s'est significativement dégradé et la visibilité sur la route est faible... 9, 8, 7. Vous stoppez votre tâche et tentez au mieux de chasser toutes les pensées interférentes relatives à votre série afin de concentrer votre attention sur le traitement des indices nécessaires au guidage, à la navigation et à l'identification des risques sur la route... 6, 5, 4, 3... Autour de vous, le trafic est chargé. Vous posez les mains sur le volant et les pieds sur le pédalier... 2, 1. Ca y est ! vous êtes désormais conducteur.

Dans son développement technologique actuel, le système de conduite autonome n'est pas opérationnel et donc se désactive dans trois situations spécifiques : dans des contextes météorologiques très défavorables induisant une faible visibilité, lorsque les courbures des virages sont trop importantes et enfin, lorsque les lignes blanches sont partiellement effacées ou recouvertes (Monsaingeon et al., 2020). Étant donné ces limites, il s'agit alors pour le passaducteur d'un véhicule de reprendre le volant alors qu'il y a peu de visibilité sur la route et que les indices de positionnement sur la chaussée sont dégradés. C'est sans doute sur ce point premier que l'ergonomie cognitive prend toute sa place dans le développement d'interfaces qui favoriseront une meilleure coopération entre l'humain et le système autonome. Se basant sur les modèles cognitifs de l'attention et de l'automatisation des traitements, elle permet de soulever les problématiques majeures du passaducteur posées par cette nouvelle manœuvre et d'y apporter des solutions.

Deux problématiques majeures pour le passaducteur dans son statut de conducteur seront ici exposées. La première porte sur l'acquisition d'un niveau suffisant et le maintien de l'expertise de conduite, la seconde est celle du switch attentionnel que doit opérer le passaducteur au moment de l'alerte de désactivation imminente du système autonome.

La perte d'expertise

Est considéré comme expert de l'activité de conduite tout individu ayant plus de cinq années de permis de conduire et conduisant en moyenne 10 000 km par an (correspondant environ à 200 km par semaine). Notons que chaque kilomètre parcouru est actuellement un kilomètre conduit. A l'avenir, les véhicules semi-autonomes prendront en charge une partie du trajet automobile. Cette fois, le nombre de kilomètres conduit sera significativement plus faible induisant d'une part, une perte de l'expertise de conduite pour les conducteurs ayant une expérience passée sur véhicules plus anciens, et d'autre part la non-acquisition d'un niveau d'expertise de conduite suffisant par le passaducteur qui n'aura connu que ce type de véhicule.

L'expertise en conduite est un facteur déterminant de l'adaptation de l'humain à la situation, au contexte de conduite. Cette expertise, qui se développe par la pratique, permet aux conducteurs d'acquérir et de renforcer les compétences nécessaires et suffisantes à cette activité complexe et dynamique, telle que l'exploration stratégique de la scène routière (Brown & Groeger, 1988 ; Crundall & Underwood, 1998 ; Crundall et al., 2012). Crundall et Underwood (1998) ont montré que les conducteurs experts modifiaient leur temps moyen de fixation oculaire sur la scène routière en fonction du contexte de conduite (en ville, voie rapide, en banlieue), tel que plus l'environnement est à risque et plus les fixations sont longues. A contrario, les conducteurs novices adoptent strictement les mêmes comportements de fixation oculaire quel que soit le contexte de conduite.

L'acquisition de l'expertise de conduite assure l'automatisation de la tâche de guidage du véhicule. Relevant du niveau purement opérationnel (Michon, 1985), il libère l'humain du coût attentionnel et de traitement lié à l'usage même du véhicule (pédalier, volant, boîte de vitesse...), et lui permet en conséquence d'allouer l'ensemble de ses ressources à son adaptation au contexte de conduite, favorisant un comportement plus sécuritaire (Young & Stanton, 2007). Si l'on comprend tout l'intérêt de l'acquisition d'un niveau d'expertise suffisant, l'émergence de véhicules de niveau 3 et 4 implique de fait le risque d'une massification de la perte ou de l'absence d'une expertise suffisante de conduite chez les passaducteurs, tout en exposant ces derniers à la réalisation d'une

manœuvre à la fois complexe et à risque (la reprise de l'activité de conduite manuelle sur demande du système autonome en un temps limité) dans un contexte dégradé.

Afin de pallier au mieux la perte ou l'absence d'expertise au volant sur des véhicules autonomes, une piste de solution consiste à enregistrer et à étudier aujourd'hui en simulateur, le comportement visuo-attentionnel de conducteurs experts en situation de reprise de la conduite sur un véhicule semi-autonome. Leur balayage visuel de la scène routière étant stratégique, ils sont mieux à même de reprendre l'activité de conduite manuelle que les conducteurs novices (Ouddiz et al., 2020). Les enseignements issus de l'analyse de leur comportement visuo-attentionnel pourraient ainsi être utilisés dans le cadre de la formation à la conduite voir, servir d'interface de facilitation de la reprise de l'activité de conduite après une période de conduite autonome. D'autres pistes restent à explorer, la première étant la révision de l'apprentissage de l'activité de conduite, jusqu'à présent restreinte à la période précédant l'acquisition du permis de conduire, elle serait sans doute à imaginer comme un apprentissage à exercer tout au long de la vie.

Le coût de l'alternance et l'interférence proactive des tâches menées en statut passager

En plus des risques liés à la perte d'expertise, la littérature souligne que la reprise de l'activité de conduite après une période de conduite autonome est particulièrement risquée, même pour les conducteurs experts. Des études ont ainsi montré que les passaducteurs en période de conduite manuelle (période 1, Figure 2) ont des comportements dégradés de conduite par rapport à des conducteurs réalisant l'entièreté du parcours routier en conduite manuelle. Les premiers montrant des temps de réaction plus longs face à une situation critique sur la route, une augmentation du risque collision et une dégradation du contrôle du positionnement tant latéral que longitudinal de leur véhicule (Merat et al., 2012 ; Navarro, 2018).

La diminution des performances de conduite lors de la reprise en main du véhicule s'expliquerait par le fait que la situation d'alternance génère un coût cognitif dégradant les performances. En effet, les travaux de Allport et al. (1994) et ceux de Monsell et Rogers (1995) ont mis en évidence que l'alternance de tâches générait un coût cognitif qui se caractérisait par une augmentation du nombre d'erreurs et du temps de réaction dans une tâche alternée. Ce coût supplémentaire de l'alternance s'expliquerait par la nécessité d'une reconfiguration des processus cognitifs de l'individu pour correspondre à la nouvelle tâche et à la nécessité d'inhiber (de mettre de côté) la configuration des processus

cognitifs nécessaire à la réalisation de la première. Afin de parer cet aléa, Rogers et Monsell (1995) préconisent qu'avant de passer à la nouvelle tâche, l'individu se prépare à sa réalisation en configurant ses processus mentaux. En amont de son basculement vers la nouvelle tâche, alors même qu'il est en cours de traitement de la première, il devra donc volontairement activer les prérequis mentaux nécessaires à la réalisation de la seconde (tels que la représentation de l'objectif de la tâche, l'ensemble de stimuli pertinents pour la tâche, l'ensemble des réponses possibles). La difficulté pour l'individu, en particulier dans un véhicule semi-autonome, réside dans le fait qu'il n'a aucune idée du moment où le système deviendra inopérant. Il lui est donc difficile de se préparer à l'occurrence d'une tâche dont la probabilité est incertaine. En accord avec Monsell et Rodgers (1995), Trafton et al. (2005) ont proposé d'ajouter, dans le contexte de tâches alternantes, un indicage visuel manifeste juste en amont du basculement d'une tâche à l'autre. Ils ont montré une facilitation liée à cet indicage, marquée par un plus rapide engagement dans la nouvelle tâche.

Une étude menée au CLLE par Théo Davezac en 2022 a justement montré l'intérêt de l'incrustation sur le pare-brise avant du tracé d'une exploration systématique de la scène routière dans le délai des 10 secondes avant la désactivation effective de l'autopilote. Cet indicage exogène, impliquant un déplacement automatique de l'attention sur les cercles lumineux apparaissant séquentiellement sur le pare-brise au centre, à gauche, à droite et de nouveau au centre de la scène routière a eu pour effet d'améliorer significativement le parcours visuel du passaducteur au moment de la reprise, facilitant la manœuvre de reprise de l'activité de conduite.

La manœuvre de reprise de la conduite manuelle se déroule dans un environnement dynamique (intégrant d'autres véhicules de toute sorte). Elle constitue par ailleurs une tâche complexe et devant être menée dans un délai court. Ce dernier élément pointe le caractère stressant de l'action à mener. Le stress occasionné induit en effet une augmentation de la charge mentale relative à cette manœuvre périlleuse (Galy et al., 2012 ; Matthews & Desmond, 1995), entraînant un risque accru d'accident à la reprise.

Le délai imparti de 10 secondes est le nœud du problème sur lequel l'ergonomie cognitive tend à trouver des solutions. Comme nous l'avons vu, l'une des pistes consisterait à aider le passaducteur à bien reprendre le contrôle visuo-attentionnel de la scène routière, de telle sorte que son comportement de reprise soit mieux adapté à son environnement (Davezac, 2022). Une autre option consiste à considérer que pour bien reprendre le volant, il est nécessaire d'être toujours conscient de la situation dans laquelle nous sommes (Endsley, 1995). Au regard du modèle de Endsley, si le passaducteur rencontre des problèmes au moment de la manœuvre de reprise de la conduite manuelle c'est parce qu'il a

perdu la conscience qu'il est dans une voiture, qu'il doit reprendre le statut de conducteur, ce qui implique qu'il ne fait pas attention aux indices pertinents de la scène routière pour conduire, qu'il ne peut donc pas comprendre quels éléments sont les plus à risque, qu'il n'est alors pas en mesure de mettre en œuvre le déroulé des actions nécessaires pour reprendre en toute sécurité l'activité de conduite. Finalement, la problématique ici vient du dédoublement de la personnalité de l'humain derrière le volant, alternant entre conducteur et passager sur un même trajet routier. A cela s'ajoute le fait que durant la phase de non-conduite, alors que le passaducteur est passager, il est en mesure de mener d'autres activités tout aussi largement engageantes que l'activité de conduite, renforçant la perte de la conscience de la situation.

Plutôt que d'agir dans le délai court de 10 secondes, il s'agirait cette fois d'intervenir en amont de la manœuvre critique, durant la période de conduite autonome. Alors que le passaducteur serait occupé à faire ce qu'il souhaite, il pourrait être invité par le système autonome à répondre à des questions relatives à son environnement de conduite par exemple. Cette simple interrogation suivie de la réponse du passaducteur favoriserait sa prise de conscience de la situation ou son maintien alors qu'il est passager. Si la solution paraît intéressante, un problème subsiste cependant : l'acceptabilité d'un tel dispositif par l'individu lambda. Même si cette préoccupation ne quitte pas le chercheur en ergonomie cognitive, elle reste en suspens, considérant à ce stade que toutes les voies sont à explorer.

L'acceptabilité de la coopération avec le véhicule autonome du passaducteur dans son statut de conducteur s'avère aujourd'hui une question centrale pour les constructeurs mais également pour l'ensemble des chercheurs œuvrant dans le domaine. Cependant, comme nous l'avons vu, le passaducteur ne se résume pas à son statut de conducteur. Il alterne entre deux statuts, celui de conducteur et celui de passager. Pour ce second statut endossé par le passaducteur, les données scientifiques portant sur son comportement et les facteurs l'affectant sont à ce jour quasi inexistantes.

Le Lâcher-prise

Considérer l'humain derrière le volant comme un être double, alternant entre deux statuts sur un trajet, permet d'interroger l'acceptabilité de la coopération avec un système autonome au regard du statut qu'il endosse. Dans son statut de conducteur, le passaducteur est focalisé sur sa performance. Ce qui l'occupe alors porte sur l'ensemble des facteurs qui pourraient impacter sa capacité dans un contexte assimilable à une course de relais, à

prendre le témoin que lui donne le système autonome. Dans son statut de passager, le passaducteur ne recherche pas la performance mais plutôt le bien-être et le calme. L'interaction avec le système autonome est cette fois plus tacite, dans le sens où elle ne nécessite aucune action, aucune communication a priori entre l'humain et le système automatisé. Il s'agit ici de déterminer les facteurs impactant le confort psychologique et physique et le bien-être de l'humain transporté par le véhicule automatisé.

Ces facteurs, plus émotionnels, sont en effet déterminants pour l'acceptabilité de la voiture par l'humain, qu'il soit un passager à temps partiel ou à temps plein (Bellem, Thiel, Schrauf, & Krems, 2018). Parmi ces facteurs, l'anxiété ressentie par l'humain lorsqu'il est passager d'une voiture pourrait s'avérer critique dans sa future interaction avec la voiture semi-automatique, comme l'anxiété du conducteur (amaxophobie ; Clapp et al., 2011 ; 2014) l'est actuellement pour les voitures à conduite manuelle. Affectant 15 % des conducteurs, l'anxiété du conducteur se traduit par une augmentation des erreurs de conduite, un sentiment de malaise, voire des attaques de panique (pour une revue, Taylor, Dean et Podd, 2002). Dans les formes les plus sévères de cette anxiété, on observe des comportements d'évitement. Ces comportements vont de l'évitement des situations redoutées à l'évitement pur et simple de la voiture. La psychopathologie a développé des dispositifs pour soutenir les conducteurs anxieux et améliorer leur acceptabilité de conduire un véhicule manuel (Taylor, Dean & Podd, 2002).

L'anxiété du passager, que nous appellerons ici locomotiophobie (loco = lieu, motio = mouvement, phobie = anxiété ; c'est-à-dire l'anxiété d'être déplacé d'un endroit à un autre), n'a fait étonnement l'objet d'aucune étude jusqu'à celle que nous avons menée en 2021 au sein du CLLE (Lemercier et al., 2021). Considérant a priori comme anxiogène la situation d'être transporté par un pilote autonome « invisible », et face à l'absence de travaux scientifiques documentés sur la situation commune d'être transporté par un pilote humain, nous avons alors conçu une étude par questionnaire interrogeant d'abord le niveau d'anxiété du passager en fonction du type d'individu conduisant le véhicule (un proche, un individu non familier, un professionnel du transport), interrogeant enfin les facteurs déterminants cette peur. 577 individus ont répondu à notre enquête par questionnaire. Parmi eux, 44.9% ont avoué ressentir souvent à toujours de la peur lorsqu'ils sont passagers d'une voiture conduite par un individu non familier. Ce pourcentage descend à 27.8% lorsque le conducteur est un proche. Il passe enfin à 15.7% lorsqu'il s'agit d'un conducteur professionnel. L'étude révèle enfin que le déterminant majeur de la peur du passager est focalisé sur le risque d'accident. Passif dans l'activité de conduite, il craint que l'autre n'ait pas perçu l'occurrence d'un événement à risque, ou qu'il fasse preuve d'une défaillance perceptive, cognitive ou motrice altérant son temps de réaction. Ce que notre étude démontre est l'importance du conducteur, et plus précisément son rapport de

proximité ou sa compétence attestée sur l'anxiété ressentie par le passager. Demain, lorsque la voiture sera conduite par l'autopilote, aucune instance physique ne sera présente dans l'habitacle automobile alors que le passaducteur sera passager. Il s'avère essentiel alors de réfléchir d'ores et déjà à des interfaçages qui permettront de limiter cet état émotionnel négatif, afin d'éviter l'écueil d'un rejet massif de la conduite autonome.

Un autre aléa émotionnel impactant a priori le comportement du passaducteur dans son statut de passager est lié au stress relatif aux contraintes en particulier associées à son déplacement. Comme nous l'avons souligné, 95% des accidents de la route sont le fait d'une erreur humaine. Cette erreur est fortement induite par l'état émotionnel du conducteur. En particulier, les états émotionnels à forte intensité (joie extrême, énervement, colère) conduisent à des prises de risque au volant, induisant un sur-risque d'accident (Sagberg et al, 2015). La pression temporelle à laquelle les individus de nos sociétés modernes sont soumis est un déterminant majeur d'énervement, et conduit des comportements à risque au volant. Si les véhicules autonomes de niveau 3 imposeront la reprise de la conduite manuelle en cas d'inopérabilité du système de conduite autonome, elles permettront également au passaducteur de reprendre le volant à tout moment, s'il le désire. Il est donc à craindre que dans des situations de forte pression temporelle et en fonction de son profil, le passaducteur en vienne à reprendre la conduite manuelle, considérant illusoirement qu'il pourra gagner quelques précieuses minutes en se mettant, ainsi que les autres usagers de la route, en danger. Afin de remédier à cet aléa éventuel, il s'agit ici d'identifier, sur la base du recueil et de l'analyse de données relatives à l'activité impliquant le déplacement de l'individu et du suivi des données physiologiques du passaducteur dans son statut de passager, les indicateurs dont les variations entraînent une reprise intempestive du volant (Cazes et al., 2022), et de là, proposer un interfaçage de communication entre le passaducteur et le système autonome favorisant la prise de décision du maintien de son statut de passager par l'humain.

La problématique majeure posée par le statut passager du passaducteur est celle de la gestion de ses émotions. Dans cette perspective, il apparaît que la psychopathologie et ses méthodes de remédiation des émotions, comme les thérapies Cognitivo-Comportementales, constituent des sources d'inspiration dans le développement d'interfaces intégrées favorisant le bien-être du passager et limitant de fait sa velléité à reprendre le volant de manière intempestive. L'interface de communication entre le système et l'humain sera déterminante dans l'acceptabilité de la voiture autonome par ses futurs occupants. Elle s'avère tout aussi cruciale pour les autres usagers de la route, qui devront interagir dans leur déplacement avec des véhicules autonomes et connectés entre eux et avec l'ensemble des mobiliers routiers (par exemple, les lampadaires ou les feux de la circulation).

La communication avec les autres usagers de la route

L'environnement routier est composé de différents types d'usagers qui doivent interagir de manière sûre et optimale afin d'assurer la fluidité du trafic. Il s'agit aussi bien des usagers vulnérables (disposant d'un faible niveau de protection corporelle en cas de collision avec un véhicule motorisé à quatre roues : piétons, les cyclistes, les motocyclistes et les utilisateurs de trottinettes), que les usagers non vulnérables (conducteurs de voiture, bus, tram, camion...). L'interaction entre ces différents usagers passe par la nécessité d'établir un langage commun assurant la communication précise, non ambiguë, brève, suffisamment informative et pertinente de leur volonté de mettre en œuvre une manœuvre impliquant, des autres usagers de la route, une action (ralentir, s'arrêter, se déporter par exemple ; Grice, 1979). Cette question de la communication entre le véhicule et les autres usagers de la route a fait l'objet de travaux approfondis dans l'interaction des voitures avec les piétons.

L'analyse de 650 clips vidéo de scènes de circulation réelles menée par Rasouli et al. (2017) sur plusieurs pays, a révélé que le regard était l'indicateur de communication non verbal le plus utilisé par exemple chez les piétons afin de transmettre une intention de traverser la chaussée à un conducteur de voiture à venir. En ce qui concerne les cyclistes, Bazilinskyy et al. (2021) ont révélé, par le biais d'une expérience d'immersion basée sur un scénario, que les fenêtres aveugles d'une voiture en approche incitaient les individus à vouloir freiner lorsqu'ils traversaient une intersection, tandis que le contact visuel détectable du conducteur les incitait à continuer de pédaler. En définitive, il existe un ensemble d'arguments suggérant que les usagers de la route ressentent le besoin d'établir un contact visuel avec les conducteurs avant de prendre leur décision de traverser, très probablement pour lever l'ambiguïté sur la question de savoir qui a la priorité et prendre des décisions de traverser plus sûres. En fait, le contact visuel constitue le fondement de la communication et des interactions sociales entre les usagers de la route (Jordin, Engemann, Eckert, Bente et Vogeley, 2019).

L'individu derrière le volant d'un véhicule semi-autonome ne sera pas forcément son conducteur au moment où une interaction avec un autre usager se produira, ce qui rend de fait les indicateurs actuels de communication (basé sur le contact visuel avec un conducteur) avec les autres usagers de la route caducs. Il est alors nécessaire de créer des interfaces de communication entre le véhicule semi-autonome et les autres usagers de la route assurant la fluidité de leur interaction dans l'espace routier. Plusieurs interfaces ont déjà été proposées par les constructeurs (par exemple, Daimler, 2017 ; Mercedes-Benz, 2015) et les universitaires (par exemple, de

Clercq et al., 2019 ; Dey, Matviienko, Berger, Pfleging, Marten, et al., 2021). Par exemple, dans une étude menée par de Clercq et ses collègues (2019), des piétons devaient évaluer leur sentiment de sécurité à traverser la chaussée alors qu'un véhicule autonome était en approche. A l'avant du véhicule autonome, au niveau de la plaque minéralogique, une interface de communication était présentée. Sur cette interface apparaissait soit un message textuel "marchez" / "arrêtez", soit un chevalier, soit un tracé figurant un sourire vs. un tracé plat, soit aucune information (condition de base). Enfin, de part et d'autre de cette interface, des feux colorés changeaient de couleur (Figure 3). L'ensemble des piétons réalisait un parcours simulé de 30 minutes, dans lequel il était confronté à 340 véhicules qui chacun était doté d'une des 5 modalités d'interfaçage de communication (figure 3). Les auteurs ont indiqué que les participants se sentaient plus en sécurité lorsqu'ils traversaient devant un véhicule équipé d'une interface de communication, et ce quelle que soit sa forme.

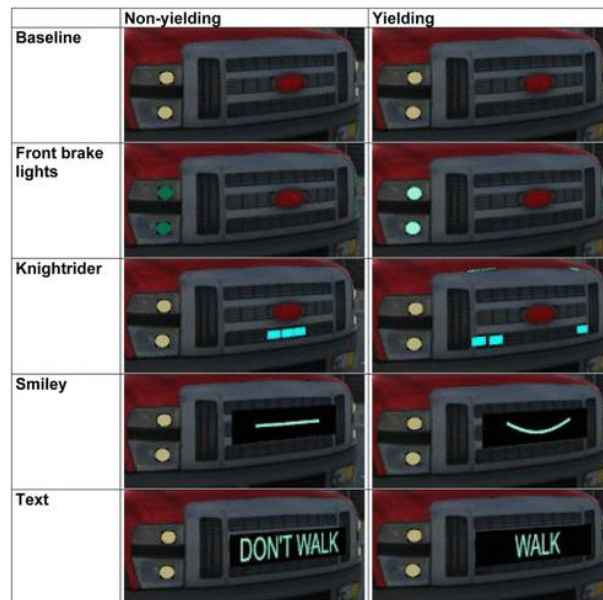


Figure 3. Les différentes interfaces de communication entre le véhicule autonome et les piétons (d'après, de Clercq et al., 2019).

Quel que soit le type d'utilisateurs, chacun évalue les risques associés à sa manœuvre (par exemple, de tourner-à-gauche) en fonction des informations que lui adressent les autres utilisateurs. Dans un contexte futur de mobilité autonome et connectée, les interfaces de communication du véhicule autonome devront alors permettre à tous d'interagir avec le véhicule. Les interfaces destinées uniquement à un type d'utilisateurs ne seront alors plus adaptées. Il sera alors nécessaire de concevoir des interfaces dont le contenu sera utile et utilisable par tous. Pour s'adapter à son environnement routier proximal, l'humain utilise également

l'estimation approximative du positionnement longitudinal et latéral du ou des autres usagers de la route sur la chaussée et de leur vitesse d'approche. Ces deux indices constituent donc des pistes intéressantes dans la conception d'une interface de communication du véhicule autonome avec les autres usagers. Cependant, si l'estimation par l'humain de la position d'un objet est relativement fiable, celle de sa vitesse l'est nettement moins puisque fortement impactée par de nombreux facteurs tels, la taille du véhicule, le contexte météorologique, ou encore la courbure de la route (Sun et al., 2015. Dans une série d'études menée par Sahai et al (2021 ; soumis), nous avons testé l'utilisation de l'affichage de la vitesse comme interface de communication du véhicule (qu'il soit autonome ou non) avec les autres usagers de la route. En résumé, nos résultats montrent que cette information de vitesse est perçue et traitée par l'ensemble des usagers de la route, qu'ils soient piétons, cyclistes, trotinettistes ou conducteurs d'une voiture à conduite manuelle. Au même titre que d'autres interfaces de communication, l'affichage de la vitesse influe sur leur comportement.

Doter le véhicule autonome d'interfaces de communication qui permettent à l'ensemble des autres usagers d'interagir avec est une piste de solution intéressante à creuser. D'autres pistes sont également à investiguer. Il s'agit par exemple d'étudier quel serait le dispositif le plus adapté pour assurer une perception la meilleure de l'information par les autres usagers.

Conclusion

Le développement des véhicules autonomes et connectés est la réponse donnée par les constructeurs et les équipementiers pour parer les 95% d'accidents sur la route impliquant une erreur humaine. Outre la limitation de l'accidentologie, ces véhicules favoriseraient le maintien de l'autonomie pour des personnes à mobilité réduite par exemple. Maintenant, elles sont aussi source réelle de nouvelles contraintes pour l'humain qui devra réapprendre les processus, les indicateurs pertinents nécessaires à son adaptation à son nouvel environnement routier. En amont de l'instauration de ce nouvel espace de mobilité, l'ergonomie cognitive dans une visée prospective, se doit d'interroger d'ores et déjà les besoins, attentes et contraintes de l'humain de demain interagissant avec et de préconiser en conséquence des ajustements technologiques et des interfaçages favorisant la meilleure communication entre l'humain et les futurs systèmes intelligents dans leur mobilité respective.

Bibliographie

- Allport, D. A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance 15: Conscious and nonconscious information processing* (pp. 421–452). The MIT Press.
- Bazilinskyy, P., Dodou, D., Eisma, Y. B., Vlakveld, W. V., & De Winter, J. C. F. (2021). Blinded windows and empty driver seats: The effects of automated vehicle characteristics on cyclist decision-making. Manuscript submitted for publication. https://www.researchgate.net/publication/342637884_Blinded_windows_and_empty_driver_seats_The_effects_of_automated_vehicle_characteristics_on_cyclists%27_decision-making.
- Bellem, H., Thiel, B., Schrauf, M. and Krems, J.F. (2018) Comfort in Automated Driving: An Analysis of Preferences for Different Automated Driving Styles and Their Dependence on Personality Traits. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 90-100. DOI : 10.1016/j.trf.2018.02.036
- Brown, I.D. & Groeger, J.A. (1988) Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status, *Ergonomics*, 31:4, 585-597, DOI: 10.1080/00140138808966701
- Cazes, R., Camps, V. & Lemercier, C. (2022). Effects of emotions the willingness to take over the driving activity on a highly automated vehicle, 31st European Conference of the International Transportation Systems, Toulouse, 30 May-1 June 2022.
- Clapp, J. D., Baker, A. S., Litwack, S. D., Sloan, D. M., & Beck, J. G. (2014). Properties of the Driving Behavior Survey among individuals with motor vehicle accident-related posttraumatic stress disorder. *Journal of anxiety disorders*, 28(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2013.10.008>
- Clapp, J. D., Olsen, S. A., Danoff-Burg, S., Hagedwood, J. H., Hickling, E. J., Hwang, V. S., & Beck, J. G. (2011). Factors contributing to anxious driving behavior: the role of stress history and accident severity. *Journal of anxiety disorders*, 25(4), 592–598. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2011.01.008>
- Crundall, D. E., & Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448–458. DOI : 10.1080/001401398186937

- Crundall, David & Chapman, Peter & Trawley, Steven & Collins, Lyn & Loon, Editha & Andrews, Ben & Underwood, Geoffrey. (2012). Some hazards are more attractive than others: Drivers of varying experience respond differently to different types of hazard. *Accident; analysis and prevention*. DOI : 45. 600-9. 10.1016/j.aap.2011.09.049.
- Daimler. (2017). Autonomous Concept Vehicle Smart Vision EQ Fortwo: Welcome to the Future of Vehicle Sharing. Retrieved from the Daimler website: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Autonomous-concept-vehicle-smart-vision-EQ-fortwo-Welcome-to-the-future-of-vehicle-sharing.xhtml?oid=29042725>
- Davezac, T. (2022). Interactions Humain/Véhicule semi-autonome en conduite simulée : Augmenter la sécurité des passaducteurs (conducteurs-passagers)», mémoire de master 2.
- de Clercq, K., Dietrich, A., Núñez Velasco, J. P., De Winter, J., & Happee, R. (2019). External human-machine interfaces on automated vehicles: effects on pedestrian crossing decisions. *Human factors*, 61(8), 1353-1370. DOI: 10.1177/0018720819836343
- Dey, D., Matviienko, A., Berger, M., Pflöging, B., Martens, M., & Terken, J. (2021). Communicating the intention of an automated vehicle to pedestrians: The contributions of eHMI and vehicle behavior. *Information Technology*, 63(2), 123-141. DOI: 10.1515/itit-2020-0025
- Endsley MR. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*. 1995;37(1):32-64. DOI:10.1518/001872095779049543
- Galy, E. Cariou, M. & Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types?, *International Journal of Psychophysiology*, 83-3, 269-275, DOI : 10.1016/j.ijpsycho.2011.09.023.
- Grice H. Paul. Logique et conversation. In: *Communications*, 30, 1979. La conversation. pp. 57-72. DOI : <https://doi.org/10.3406/comm.1979.1446>
- Jording, M., Engemann, D., Eckert, H., Bente, G., & Vogeley, K. (2019). Distinguishing social from private intentions through the passive observation of gaze cues. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 442. DOI: 10.3389/fnhum.2019.00442
- Lemercier, C. & Cellier, J-M. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile: inattention, distraction, et interférence. *Le Travail Humain*, 71, 3, 271-296. DOI : 10.3917/th.713.0271.
- Lemercier, C. (2021). Attention et Vigilance. In E. Brangier & G. Valéry, *Dictionnaire de l'ergonomie*, Dunod.

- Lemercier, C., Rousseau, A., Sejourne, N., Delmas, M. & Caroux, L. (2021). Locomotiophobia of the car passenger: of the interest to study the anxiety to be transported in car to understand its determinants and to bring human factors solutions to reduce them. 12th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics - AHFE 2021 . New York City, NY, États-Unis.
- Matthews, G., & Desmond, P. A. (1995). Stress as a factor in the design of in-car driving enhancement systems. *Le Travail Humain: A Bilingual and Multi-Disciplinary Journal in Human Factors*, 58(2), 109–129.
- Merat, N., Jamson, A., Lai, F. & Carsten, O.. (2012). Highly Automated Driving, Secondary Task Performance, and Driver State. *Human factors*. 54. 762-71. DOI : 10.1177/0018720812442087.
- Mercedes-Benz. (2015). Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion - Interaction zebra crossing. Retrieved from the AutoMotoTV youtube channel: <https://www.youtube.com/watch?v=fvtlobbMENo>
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models. What do we know, what should we do? In L. Evans & R. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-525). Plenum press, New York.
- Monsaingeon, N., Hurgobin, Y., Caroux, L., Langlois, S. & Lemercier, C. (2020). Mapping drivers' desire to deactivate automation regarding reliability information and environmental circumstances. *Le travail Humain*, 341-360. DOI : 10.3917/th.834.0343
- Navarro, J. (2018). A state of science on highly automated driving. *Theoretical issues in ergonomics sciences*, 20:3, 366-396, DOI: 10.1080/1463922X.2018.1439544
- Ouddiz, S., Paubel, P-V., Perez, M. & Lemercier, C. (2020). How novice and expert drivers prepare for the takeover when they are drivengers of a level 3 autonomous car? Investigation of their visual behaviour. *Le travail Humain*, 361-378. DOI : 10.3917/th.834.0361
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207–231. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>
- Rasouli, A. & Kotseruba, Y. & Tsotsos, J. (2017). Agreeing to cross: How drivers and pedestrians communicate. 264-269. 10.1109/IVS.2017.7995730.
- Rogers, Robert & Monsell, Stephen. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of*

- Experimental Psychology: General. 124. 207-231.
10.1037/0096-3445.124.2.207.
- SAE (2018), Sae international releases updated visual chart for its “levels of driving automation” standard for self-driving vehicles.
- Sagberg, F., Selpi, S. & Bianchi Piccinini, G. & Engström, J. (2015). A Review of Research on Driving Styles and Road Safety. *Human factors*. 57. 10.1177/0018720815591313.
- Sahai, A., Labeye, E., Caroux, L. & Lemercier, C. (2021). Enhancing child, young and older adult pedestrians’ crossing decision presenting vehicle’s state information through an external vehicle display. 12th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics - AHFE 2021 . New York City, NY, États-Unis.
- Sahai, A., Labeye, E., Caroux, L. & Lemercier, C. (submitted). Crossing the street in front of an autonomous vehicle: an investigation of eye contact between drivengers and vulnerable road users.
- Stanton, N. A., Young, M. S., Walker, G. H., Turner, H., & Randle, S. (2001). Automating the driver's control tasks. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), 221-236. https://doi.org/10.1207/S15327566IJCE0503_5
- Sun, Rouxian & Zhuang, Xiangling & Wu, Changxu & Zhao, Guozhen & Zhang, Kan. (2015). The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 30. 10.1016/j.trf.2015.02.002.
- Taylor, J. E., Deane, F. P., & Podd, J. V. (2007). Driving fear and driving skills: Comparison between fearful and control samples using standardised on-road assessment. *Behaviour Research and Therapy*, 45(4), 805–818. <https://doi.org/10.1016/J.BRAT.2006.07.007>.
- Trafton, J. G., Cassimatis, N. L. , Bugajska, M. D. , Brock, D. P., Mintz, F. E. & Schultz, A. C. (2005). Enabling effective human-robot interaction using perspective-taking in robots, in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 35- 4, 460-470, July 2005, doi: 10.1109/TSMCA.2005.850592
- Trafton, J. G., Altmann, E. M., Brock, D. P. (2005). Huh, what was I doing? How people use environmental cues after an interruption. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 49th Annual Meeting* (pp. 468–472). Santa Monica, CA: SAGE Publications.

Mobilitéé 4.0 et ergonomie cognitive

Young, M. & Stanton, N. (2007). What's skill got to do with it? Vehicle Automation and driver mental workload. *Ergonomics*, 50. DOI : 1324-39. 10.1080/00140130701318855.