



L2.4 Etat de l’art des expérimentations menées sur les séquences de reprise en main après une phase de conduite autonome

Work Package	2
Responsable du WP, affiliation	LEDOUX V., CEREMA
Livrable n°	L2.4
Version	V4
Auteur responsable du livrable	Koustanāi, A., LAB
Auteurs, affiliations	Koustanāi, A., LAB
Relecteurs, affiliations	Yousfi, E., VEDECOM
Statut du livrable	Final

Veillez citer ce document de cette façon :

Koustanai, A., & Yousfi, E. (2020). *Livrable L2.4 : État de l’art des expérimentations menées sur les séquences de reprise en main après une phase de conduite autonome*. Projet SURCA. 16 p.

Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
V1	26/03/2020	Koustanai, A.	
V2	08/04/2020	Yousfi, E.	Relecture et commentaires
V3	06/04/2021	Yousfi, E.	Révision
V4	06/04/2021	Koustanai, A.	Révision

Remerciements

Le Projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité Routière, la Délégation à la sécurité routière et pour moitié par les partenaires du projet.



Résumé du livrable

La tâche 2.1 se divise en deux volets. Le premier volet de cette tâche vise à dresser un état des connaissances sur le comportement de différents types d’usager en se focalisant tout particulièrement sur les comportements qu’ils adoptent en situation d’interaction potentielle. Les synthèses porteront sur certaines catégories d’usagers et/ou conditions de déplacement.

Ce livrable a pour objet le second volet qui consiste à réaliser un état des lieux des études sur la reprise en main et la formation à la reprise en main. L’objectif est de faire une synthèse des expérimentations sur les séquences de reprise en main (qu’elles soient programmées ou non) après une phase de conduite autonome, afin d’analyser et de mettre en exergue les éléments de compétences du conducteur indispensables pour une reconstruction de la conscience de la situation et un retour efficient à la conduite manuelle. Cette synthèse dresse les catégories de connaissances et de compétences dont l’acquisition est nécessaire pour mettre en œuvre une réaction adaptée lors de la reprise en main (qualité et pertinence de la prise d’informations, intégration pour une prise de décision adaptée, ...). Elle s’appuie sur les différentes expérimentations réalisées sur simulateur ces dernières années afin de déterminer les temps de reprise en main du véhicule après une phase de conduite automatisée et d’étudier le comportement de conduite suite à la reprise en main. Ces études pointent une diminution de la performance de conduite au décours immédiat de la reprise en main. L’analyse de ces études met en évidence les points critiques spécifiques à la reprise en main et permet d’envisager les moyens d’améliorer cette phase délicate, en fournissant des recommandations pour amener le conducteur à acquérir les compétences nécessaires à un retour en sécurité à la conduite manuelle : s’assurer de l’acquisition et du maintien des compétences de conduite manuelle, le renforcement de la connaissances sur le fonctionnement des véhicules autonomes et la favorisation du maintien de la surveillance du système par le conducteur.

Table des matières

1	INTRODUCTION	6
2	PROBLÉMATIQUE.....	6
3	TEMPS DE REPRISE EN MAIN ET RECONSTRUCTION DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION	8
4	RECOMMANDATIONS POUR LA FORMATION A LA REPRISE EN MAIN	12
4.1	S’ASSURER DE L’ACQUISITION ET DU MAINTIEN DES COMPÉTENCES DE CONDUITE MANUELLE	12
4.2	RENFORCER LES CONNAISSANCES SUR LE SYSTÈME AUTONOME	12
4.3	MAINTENIR UNE SURVEILLANCE DU SYSTÈME AUTONOME ADAPTÉE	12
5	CONCLUSION	13
6	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	13

Table des tableaux

TABLEAU N° 1 : ETUDES SUR LES TEMPS DE REPRISE EN MAIN. 9

1 INTRODUCTION

Le WP2 ambitionne de produire plusieurs états de l’art portant sur :

- le comportement de certaines catégories d’usager et/ou situations de conduite (traversée de piéton, 2RM, ...)
- les problématiques de reprises en main après une phase de conduite autonome afin de mieux cerner les besoins en formation des conducteurs
- les scénarios de conduite critiques (accidents et presque-accidents) à partir de l’exploitation de bases de données existantes
- des postures des occupants de Véhicules Légers (VL) actuels et de celles envisagées pour ceux des véhicules autonomes.

Ce WP se propose également de tenter d’estimer l’impact que pourrait avoir l’introduction des véhicules autonomes sur l’accidentalité routière.

Les sorties de ce WP2 devront permettre d’identifier les situations rencontrées par les différents types d’usagers ainsi que les facteurs contextuels pouvant expliquer des comportements différents de ces derniers ou des occurrences plus importantes d’accidents ou d’incidents.

2 PROBLÉMATIQUE

Une des problématiques de l’interaction entre le conducteur et le véhicule autonome concerne la reprise en main de ce dernier par le conducteur. En effet, la reprise en main pose des questions en termes de sécurité, notamment concernant la qualité du contrôle du véhicule par le conducteur suite à une phase de conduite autonome et sa conscience de la situation. La conscience de la situation du conducteur a toute son importance pour la sécurité lors de la reprise en main dans la mesure où ce concept peut expliquer la capacité à éviter les accidents en conduite manuelle (Gugerty, 1997 ; Stanton et al., 2017).

La littérature est assez homogène sur le fait que la conscience de la situation permet de donner de la cohérence aux événements externes, créer des attentes et ainsi orienter la prise d’information. La conscience de la situation sert également d’ancrage aux décisions et actions ultérieures, permettant ainsi l’anticipation des évolutions de la situation et des effets d’actions (pour revue : Chalandon, 2007). La référence la plus utilisée pour définir la conscience de la situation est celle de Endsley (1995). Selon l’auteur, la conscience de la situation renvoie à « la perception des éléments dans l’environnement dans un volume de temps et d’espace, la compréhension de leur signification, et la projection de leur statut dans le futur proche ». La conscience de la situation peut être vue comme un « état de connaissance » qui permet la « compréhension d’une situation comme un tout et formant la base pour la prise de décision ». Cette approche linéaire suppose que la conscience de la situation se construit progressivement à travers trois niveaux : la perception, la compréhension et l’anticipation. D’autres approches considèrent que l’analyse exhaustive de la situation est impossible dans des activités sous contraintes temporelles telles que la conduite automobile. Selon Klein (1995), la reconnaissance implicite de patterns significatifs pour l’action se présenterait comme une solution essentielle au problème de la synchronisation activité-environnement. Cette approche suppose que la situation peut s’évaluer selon trois modes : un mode de reconnaissance simple où l’action est évidente, un mode d’adaptation d’action où une action est retenue parmi les actions possibles, et une stratégie complexe où la dynamique de la situation nécessite une ré-évaluation de la situation ou la sélection d’une autre action pour être évaluée. Selon ce modèle, la sélection d’action répond à un critère d’acceptabilité et non d’optimalité, c’est-à-dire « *trouver la première option qui marche, pas nécessairement la meilleure option possible* » (Klein, 1997). D’autres modèles se centrent sur la régulation et envisagent la compréhension de la situation non pas comme la construction d’une représentation en réaction à

l'occurrence d'un événement particulier, mais comme l'ajustement permanent d'une représentation en fonction de l'historique de la situation et des buts à atteindre. Selon Hoc et Amalberti (1994), la supervision et le contrôle de l'activité dépendent de trois boucles : une boucle à court terme de contrôle quasi-automatique guidé par les possibilités d'action sur le moment, une boucle à moyen terme basée sur la représentation occurrente continuellement ajustée par anticipation ou en cas d'incompréhension, ainsi qu'une boucle à plus long terme permettant la recomposition totale ou partielle de la représentation en cas d'incompréhension profonde. Par souci d'économie et d'opérativité, l'opérateur recherche le niveau de compréhension minimal pour une efficacité maximale en termes d'objectifs d'action (Amalberti, 1996).

Quelle que soit l'approche, la conscience de la situation suppose que les conducteurs surveillent en permanence la progression de leur itinéraire, la position et la vitesse de leur véhicule et des autres usagers ainsi que les conditions de trafic et estiment comment ces variables peuvent changer dans un futur proche. Cette surveillance continue et ces estimations servent à la prise de décision pour la navigation, les manœuvres et les autres sous-tâches de conduite. L'interruption de la surveillance ou l'allocation de l'attention sur des éléments non pertinents peuvent ainsi entraîner une perception de la situation en décalage avec la situation réelle. La mauvaise perception des nouveaux éléments, la mauvaise compréhension et la mauvaise anticipation peuvent entraîner une prise de décision erronée et ainsi aboutir à un accident (Treat et al., 1979 ; Elender et al., 1993).

La conscience de la situation du conducteur peut être diminuée de façon importante pendant les phases de conduite autonome en raison du désengagement du conducteur de son activité de conduite (Haué et al., 2020). Ce désengagement peut se traduire par une augmentation du temps passé à réaliser des activités non liées à la conduite (Naujoks et al., 2016 ; Jamson et al., 2013) et cet effet augmente avec le niveau d'automatisation du véhicule (Carsten et al., 2012 ; Reimer et al. 2016). Le désengagement se traduit également par une augmentation du temps passé avec le regard détourné de la route (Large et al. 2017). La diminution de la surveillance diminue la probabilité de percevoir les éléments pertinents de la situation, la possibilité d'interpréter correctement la situation et d'anticipation de son évolution, impactant ainsi la conscience de la situation (de Winter et al., 2014 ; Merat & Jamson, 2008). Avec la diminution de la conscience de la situation, les actions et les alertes du véhicule autonome peuvent également devenir inattendues et surprendre le conducteur (Wiener, 1989 ; Hollnagel & Woods, 2005). L'effet de surprise peut avoir un effet négatif sur le temps de réengagement et la fluidité de la reprise en main (Vahidi & Eskandarian, 2003). Par ailleurs, même en cas de surveillance de l'environnement et de supervision du système, l'activité cérébrale du conducteur semble indiquer une baisse des ressources attentionnelles pouvant impacter son analyse de la situation de conduite (Solis-Marcos, Galvao-Carmora & Kircher, 2017). De plus, des confusions sur la responsabilité du contrôle sont susceptibles de se produire et créer un décalage entre le fonctionnement du véhicule et celui attendu par le conducteur (Cummings & Ryan, 2014). Le conducteur pourrait alors prendre des décisions basées sur la croyance erronée que le véhicule fera quelque chose ou prévient d'un danger (Bredereke & Lankenau, 2002). Ainsi, si l'attention du conducteur est détournée de la scène routière pendant la phase de conduite autonome et que, par conséquent, sa conscience de la situation est diminuée, celui-ci devra la reconstruire afin d'être en mesure de prendre des décisions adaptées en cas de nécessité de reprendre le contrôle du véhicule. De la même façon, la modification de la perception lorsque le conducteur se désengage de la conduite peut entraîner une mauvaise reconstruction de la conscience de la situation et aboutir à un décalage entre la situation perçue et la situation réelle.

Il est donc essentiel que les conducteurs soient en mesure de reconstruire une conscience de la situation qui leur permet de préserver leur sécurité lors de la reprise en main. Cette capacité est d'autant plus importante que la prochaine génération de véhicules autonomes (niveaux 3 SAE) ne prévoit pas de mise en sécurité automatisée en cas d'incapacité du conducteur pour reprendre le contrôle du véhicule (SAE International, 2018). Plusieurs études menées sur simulateur de conduite

mettent en évidence les différentes compétences des conducteurs pour reconstruire la conscience de la situation en évaluant le temps nécessaire pour reprendre en main un véhicule après une phase de conduite autonome. En effet, selon Lu et al. (2017), la reconstruction de la conscience de la situation est un processus qui s’effectue de façon progressive avec d’abord la perception des véhicules présents dans l’environnement, puis de leur positionnement et enfin leur dynamique dans la situation. Les auteurs proposent ainsi que le temps nécessaire pour reconstruire la conscience de la situation dépend des ressources attentionnelles disponibles, de la capacité du conducteur à réengager une réponse motrice et de mettre en œuvre une action adaptée à la situation. Selon ce principe, une augmentation du temps nécessaire pour reconstruire la conscience de la situation peut s’interpréter comme une diminution des ressources disponibles, des capacités de réengagement et de sélection de l’action. Une dégradation de la qualité de la reprise en main lorsque le temps alloué est limité (budget temporel) peut également s’interpréter comme l’initiation d’une action du conducteur à partir d’une reconstruction insuffisante de la conscience de la situation.

3 TEMPS DE REPRISE EN MAIN ET RECONSTRUCTION DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION

Le Tableau n°1 présente les publications qui mettent en évidence l’impact de différents facteurs sur le temps de reprise en main d’un véhicule autonome. Ces recherches ont été sélectionnées de façon à présenter les résultats les plus récents permettant d’évaluer les compétences nécessaires pour reconstruire la conscience de la situation après une phase de conduite autonome. D’un côté, ils mettent en évidence les facteurs associés à l’augmentation du temps de reprise en main. D’un autre côté, ils mettent en évidence les facteurs explicatifs de la dégradation de la qualité du contrôle du véhicule lors de la reprise en main lorsque le budget temporel est limité.

Compte tenu du risque d’augmentation de la réalisation d’activités non liées à la conduite à bord des véhicules autonomes, plusieurs études ont visé à évaluer les conséquences de la distraction pendant la conduite autonome sur la reprise en main. Récemment, Erikson et al. (2017) et Happee et al. (2017) ont montré que le temps de reprise en main augmente de manière significative lorsque l’attention des conducteurs est détournée par différentes activités de vie à bord. Zeeb et al. (2016) suggèrent que cette augmentation du temps de reprise en main s’accompagne également d’une dégradation de la qualité du contrôle du véhicule (déviation latérales plus importantes qu’en conduite manuelle pour éviter un obstacle).

Louw et al. (2017) ont également observé que plus la conscience de la situation était dégradée, plus les réponses motrices pour la reprise en main (réorienter le regard vers la route, mettre les mains sur le volant) et l’initiation de la réaction d’évitement (appuyer sur le frein, tourner le volant) intervenaient simultanément ; dans leur étude, le niveau de la conscience de la situation variait en fonction de la quantité d’information disponible dans l’environnement (différentes conditions de luminosité et de brouillard) et la réalisation d’une tâche distractive. Plus la quantité d’information était réduite, plus l’initiation de la reprise en main était tardive et plus elle se rapprochait du moment où l’action d’évitement était initiée.

Ces quatre études mettent en évidence le lien existant entre la conscience de la situation et les capacités motrices. Un premier constat est que les conducteurs doivent être capables de se désengager des tâches non liées à la conduite pour réengager une réponse motrice efficace et adaptée à la situation. Sans cette compétence, la construction de la conscience de la situation est retardée et la réaction s’opère de façon réflexe, avec une anticipation limitée des actions à réaliser pour agir en toute sécurité.

Tableau n° 1 : Etudes sur les temps de reprise en main.

Auteurs	Budget temporel	Effet sur le comportement	Temps de reprise en main	Type d’environnement	Effet lié au temps de reprise en main
Eriksson et al. 2017	30 ou 45 s	-	Entre 4,5 et 6 s	Autoroute avec trafic modéré	
Happee et al. 2017	7 s	-	Entre 1,8 et 2,4 s	Autoroute avec un véhicule devant	Distraction
Zeeb et al. 2016	4 s	-	Entre 1,9 et 3 s	Autoroute avec trafic modéré	
Vlakveld et al. 2018	4 ou 6 s	Fixations visuelles vers 29% à 47% des dangers	-	Autoroute, route urbaine et rurale	
Yousfi, 2018	4 ou 8 s	Collisions entre 1% et 26%	-	Autoroute avec trafic modéré	Budget temporel
van den Beukel et al. 2013	Entre 1,5 et 3 s	Entre 12,5 % et 47,5% de collisions	-	Autoroute	
Wright et al. 2016	Entre 4 et 12 s	-	-	Route urbaine	Expérience de la conduite
Korber et al. 2016	7 s	Entre 0% et 10% de collisions	Entre 2,6 et 3,7 s	Autoroute avec trafic nul, modéré ou dense	Expérience de la conduite et conditions de trafic
Radlmayr et al. 2014	7 s	-	Entre 1,9 et 2,4 s	Autoroute avec trafic modéré ou dense	Complexité du trafic
Agrawal et al. 2017	8 s	Anticipation de 63 % à 69% des dangers	-	Autoroute, périphérique, route urbaine, rurale et zone commerciale	Changement de contexte de la conduite
Merat et al. 2014	-	-	Entre 10 et 15 s	Autoroute	Prédictibilité de la reprise en main
Bourelly et al. 2019	-	-	Entre 2,9 et 3,4 s	Autoroute	Temps de conduite autonome
Zeeb et al. 2015	Entre 5 et 12 s	Entre 15 et 45 % de collisions	Entre 1,1 et 2,3 s	Autoroute	Style de conduite
Payre et al. 2017	-	-	Entre 2,8 et 5 s	Autoroute	Formation
Dogan et al. 2017	3 ou 15 s	-	Entre 2,1 et 2,4 s	Autoroute avec embouteillage	Indices pour l’anticipation
Louw et al. 2017	7 s	7% de collisions	Entre 3,7 et 4,5 s	Autoroute avec conditions de visibilité normales, dégradées, mauvaises	Temps d’initiation de la manœuvre

Indépendamment de la distraction, les études comparant différents budgets temporels pour reprendre la main montrent que les conducteurs ont besoin d’un minimum de temps pour reconstruire la conscience de la situation. Van der Beukel & Van Der Voort (2013) ont effectivement montré que l’augmentation du budget temporel (min = 1,5 s ; max = 3 s) permet de diminuer significativement le nombre de collisions lors de la reprise en main (min = 12,5% ; max = 47,5%). Vlakveld et al. (2018) suggèrent que cet effet est corrélé avec l’utilisation de ce temps pour explorer l’environnement et orienter le regard vers les dangers latents dans l’environnement. Notamment, les auteurs ont observé que les participants disposant de 6 s pour reprendre la main après une phase de conduite autonome obtenaient des performances comparables à celles de conducteurs en conduite manuelle (4 s : orientation du regard vers 29% des dangers latents ($\sigma = 3.6\%$) ; 6 s : orientation du regard vers 47% des dangers latents ($\sigma = 3.8\%$)). Yousfi (2018) a montré que la qualité de la reprise en main pouvait être améliorée avec un budget de 8 secondes par rapport à une situation avec un budget temporel de 4 secondes. L’auteur décrit deux stratégies visuelles lorsque l’évitement d’un obstacle nécessitait à la fois une reprise en main et un changement de voie. La stratégie visuelle la plus observée combinait une consultation du rétroviseur avant la désactivation, puis une seconde vérification après la désactivation du système. Cette double vérification était plus fréquente avec un budget temporel plus long, tandis que la stratégie avec une seule vérification était plus fréquente avec un budget temporel plus court (44% à 4 s ; 64% à 6 s). Néanmoins, une grande partie des conducteurs ne consultaient pas les rétroviseurs avant la désactivation du système, quel que soit le budget temporel (54%). La plupart des conducteurs ne se donnaient donc pas les moyens de reconstruire une conscience de la situation adaptée à la mise en place d’une manœuvre de changement de voie. Dogan et al. (2017) ont également montré que la compréhension et l’anticipation de la reprise en main n’impliquent pas nécessairement l’exploration du trafic environnant. Dans cette étude, les conducteurs utilisaient les indices présents sur le tableau de bord (augmentation de 30% des consultations lorsqu’une information pertinente était présente) mais négligeaient ceux présents dans l’environnement (augmentation de 5% lorsqu’il y avait un changement des conditions de circulation avec un trafic jam assistant).

Ces études suggèrent que la conduite d’un véhicule autonome nécessite que les conducteurs acquièrent la capacité (1) d’explorer de façon pertinente l’environnement pour reconstruire la conscience de la situation au moment de la reprise en main et (2) d’exploiter les indices permettant d’anticiper les demandes de reprise en main.

Plusieurs études indiquent que cette difficulté pour rechercher les éléments pertinents de la situation dépend des attentes des conducteurs et de la complexité de la situation. Radlmayr et al. (2014) ont montré que le temps de reprise en main augmente en fonction du nombre de véhicules présents dans l’environnement. Korber et al. (2016) suggèrent cette augmentation s’accompagne également d’une diminution des marges de sécurité. Agrawal et al. (2017) indiquent une influence de la congruence entre l’environnement (e.g., rural, urbain) de l’activation du mode autonome et celui de la reprise en main. Pour cela, les auteurs ont comparé la performance de reprise en main dans une condition congruente (i.e., le type d’environnement est le même au moment de l’activation et de la reprise en main) et une condition non congruente (i.e., le type d’environnement change entre le moment de l’activation du mode autonome et la reprise en main). Une meilleure performance est observée en situation congruente comparée à une situation non congruente. Les auteurs proposent que cette différence est due aux attentes ou l’absence d’attente qui rendent l’exploration visuelle plus ou moins efficace.

Zeeb et al. (2015) ont montré que la surveillance de l’environnement pendant la conduite autonome avait une influence sur la reprise en main lorsqu’elle est inattendue. Dans cette étude, les conducteurs qui exploraient le plus leur environnement pendant la conduite autonome avaient un temps de réaction plus court et des réactions mieux adaptées lors de la reprise en main du véhicule. Les auteurs proposent que les conducteurs qui répartissent l’exploration visuelle de façon appropriée entre la

tâche distractive et la route réorientent leur attention de façon plus rapide et ont une réaction plus appropriée dans une situation de reprise en main inattendue.

Ces études suggèrent qu’une autre compétence des conducteurs pour reconstruire la conscience de la situation consiste à avoir des attentes adaptées à la situation de reprise en main et d’adapter leurs stratégies de surveillance de l’environnement pendant la conduite autonome.

Plusieurs études suggèrent que ces attentes sont acquises grâce à l’expérience de la conduite. Wright et al. (2016) ont ainsi montré qu’un budget temporel de 6 s permet à des conducteurs expérimentés de reconstruire la conscience de la situation alors que des conducteurs novices avaient besoin de plus de temps. Les attentes peuvent également être liées à la conception de la fonction autonome. Par exemple, Merat et al. (2014) ont montré que la qualité de la reprise en main était meilleure si les reprises en main intervenaient à intervalle régulier plutôt qu’en fonction du détournement du regard. Les auteurs proposent que le fait de rendre les demandes de reprise en main plus prédictibles aident les conducteurs à se préparer et à réagir. Bourrelly et al. (2019) ont également observé qu’une conduite autonome prolongée induisait une fatigue et une monotonie qui augmentent le temps de reprise en main et diminuent les marges de sécurité. Les auteurs suggèrent que des reprises en main à intervalle régulier peuvent augmenter la vigilance et faciliter la préparation à l’action. La formation des conducteurs peut également créer des attentes. Par exemple, Payre et al. (2017) ont comparé les performances de conducteurs ayant suivi une simple familiarisation avec le véhicule autonome (activation/désactivation du système et brève conduite en mode autonome) avec celles de conducteurs ayant suivi une formation élaborée (expérimentation de plusieurs cas d’usages, visionnage d’une vidéo montrant la gestuelle pour l’engagement et le désengagement du système autonome, lecture d’une notice explicative). Grâce à la formation élaborée, les conducteurs avaient un temps de réaction plus courts et une reprise en main de meilleure qualité (diminution du nombre d’interactions avec les pédales pour désactiver le système). Zeeb et al. (2016) ont également montré que les conducteurs ayant une expérience préalable d’un système automatisé (Automatic Cruise Control) avaient aussi un temps de reprise en main plus court. Finalement, Korber et al. (2016) ont observé une diminution du temps de réaction avec la répétition des reprises en main.

Ces études suggèrent que les attentes des conducteurs ne doivent pas se limiter à la surveillance de l’environnement. Elles doivent aussi être acquises par la connaissance des capacités et des limites du système. Les attentes sur le système permettent ainsi aux conducteurs de mieux anticiper les situations dans lesquelles ils sont susceptibles de reprendre la main et se préparer à agir.

En résumé, les résultats des études sur le temps de reprise en main et le comportement de conduite lors de la reprise en main menées sur simulateur donnent les principales caractéristiques du processus de reconstruction de la conscience de la situation lors de la transition de mode : tout d’abord, la reconstruction de la conscience de la situation concernant le trafic est progressive, avec d’abord un rappel du nombre de véhicules dans l’environnement, puis de leur position et enfin de leur vitesse relative. Ensuite la rapidité de la reconstruction de la conscience de la situation est influencée positivement par la capacité à se dégager des tâches non liées à la conduite et à réengager la réponse motrice. L’efficacité de la réponse dépend de la capacité à explorer l’environnement de façon pertinente. La pertinence de la recherche d’information est facilitée par les attentes appropriées par rapport à situation de reprise en main.

4 RECOMMANDATIONS POUR LA FORMATION A LA REPRISE EN MAIN

Trois compétences nécessaires aux conducteurs pour reconstruire la conscience de la situation lors de la reprise en main ont été identifiées grâce à l’étude de la littérature traitant de cette question :

- se dégager des tâches non-liées à la conduite et engager une réponse motrice
- explorer l’environnement de façon pertinente
- avoir des attentes adaptées sur le système et la situation de reprise en main

Différentes recommandations peuvent être formulées pour que les conducteurs acquièrent ces compétences :

4.1 S’assurer de l’acquisition et du maintien des compétences de conduite manuelle

Pour reconstruire la conscience de la situation après une phase de conduite autonome, les conducteurs doivent avoir de bonnes compétences en conduite manuelle liées à la prise d’information et la prise de décision dans les situations critiques. La connaissance des dangers, des réactions appropriées et de la nécessité de maintenir une surveillance de l’environnement leur permet de reconstruire la conscience de la situation plus efficacement dans les différentes situations de reprise en main.

4.2 Renforcer les connaissances sur le système autonome

Les conducteurs doivent avoir une bonne connaissance du fonctionnement du véhicule autonome, c’est-à-dire les fonctions, les limites, les mécanismes, la fiabilité, les informations délivrées par le système, la façon d’utiliser le système et leur rôle dans la conduite. En ayant une bonne représentation de ce que le système peut faire ou non, les conducteurs peuvent avoir des attentes appropriées qui permettent de maintenir une vigilance sur certains aspects de la situation et d’anticiper les situations de reprises en main. Ces attentes favorisent la reconstruction de la conscience de la situation et la préparation à reprendre le véhicule en main. Cette compétence peut être acquise par la pratique et par la formation ; la formation permet d’abord une compréhension rudimentaire du fonctionnement du système. Par la suite, la compréhension évolue avec l’expérience de l’usage du système. A partir de la représentation élaborée du fonctionnement du véhicule autonome, les conducteurs peuvent développer et calibrer un niveau de confiance adapté aux capacités des fonctions automatisées. Ce niveau de confiance influence les attitudes comportementales et les comportements lors de l’usage du système. D’un côté, les conducteurs sont en mesure de comprendre rapidement les informations données par le système et d’adopter la réaction adaptée à la situation. D’un autre côté, en évitant la complaisance ou la sur-confiance dans le véhicule autonome, les conducteurs sont capables de ne pas s’engager dans des activités incompatibles avec une reconstruction rapide de la conscience de la situation.

4.3 Maintenir une surveillance du système autonome adaptée

En maintenant une surveillance du système autonome, les conducteurs sont en mesure d’évaluer si ses fonctions répondent correctement dans les différentes situations de conduite et, le cas échéant, d’anticiper la reprise en main. Ceci implique que les conducteurs aient la capacité de conserver des niveaux de vigilance et de réceptivité adéquats. D’un côté ils doivent garder la capacité à focaliser leur attention de façon fiable et appropriée en réponse aux événements. D’un autre côté, ils doivent maintenir un niveau d’attention pendant une période prolongée.

5 CONCLUSION

L’objectif de ce livrable était de mettre en évidence les compétences contribuant à une reconstruction de la conscience de la situation et à un retour à la conduite manuelle optimaux dans la perspective de formuler des recommandations sur la formation à destination des futurs utilisateurs de véhicules autonomes. Pour cela, une analyse de la littérature scientifique traitant de la reprise en main a été réalisée et a permis de mettre en évidence trois compétences principales permettant d’opérer une reprise de contrôle dans de meilleures conditions. L’identification de ces compétences a mené à la formulation de trois recommandations concernant la formation des conducteurs afin que celles-ci puissent être acquises et mises en œuvre par les futurs utilisateurs des véhicules autonomes. Les apprentissages peuvent être réalisés dans l’usage, par des outils de formation permettant la projection dans l’usage (ex : vidéos pédagogiques) ou par capillarité au contact d’autres personnes (Le Bellu & Forzy, 2019). Néanmoins, l’acquisition de certaines compétences identifiées, telles que le maintien de la vigilance pendant la conduite autonome, se prêtent moins à la réalisation de formations et devraient plutôt être épaulées par des solutions techniques. La mise en place de ces solutions techniques et la conception d’interfaces hommes machines sont complémentaires à la formation des conducteurs pour favoriser une reprise en main dans de bonnes conditions de sécurité et un déploiement optimal des véhicules autonomes. Par ailleurs, les recherches futures devraient également s’atteler à l’exploration des questions relatives aux modalités de réalisations de ces formations afin d’en déterminer, par exemple, le format, le caractère obligatoire ou non de celle-ci et les acteurs qui devront les concevoir et/ou les dispenser.

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Agrawal, R., Wright, T. J., Samuel, S., Zilberstein, S., & Fisher, D. L. (2017). Effects of a change in environment on the minimum time to situation awareness in transfer of control scenarios. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2663), 126-133.
- Bourrelly, A., de Naurois, C. J., Zran, A., Rampillon, F., Vercher, J. L., & Bourdin, C. (2019). Long automated driving phase affects take-over performance. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(8), 1249-1255.
- Bredereke J., & Lankenau, A. (2002). *A rigorous view of mode confusion*. In: Computer Safety, Reliability and Security: SAFECOMP 2002, volume 2434 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 19–31.
- Carsten, O. M., Kircher, K., & Jamson, S. (2013). Vehicle-based studies of driving in the real world: The hard truth? *Accident Analysis & Prevention*, 58,162–174.
- Chalandon, X. (2007). *Conscience de la situation: invariants internes et invariants externes : Situation awareness - Monographie de la Conscience de la Situation*. Rapport de recherche, Cnam, 2007.
- Cummings, M. L., & Ryan, J. (2014). POINT OF VIEW: Who Is in Charge? The Promises and Pitfalls of Driverless Cars. *TR News*, 292, 25-30.
- De Winter, J. C. F., Happee, R., Martens, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27(Part B), 196–217.
- Dogan, E., Rahal, M.-C., Deborne, R., Delhomme, P., Kemeny, A., & Perrin, J. (2017). Transition of control in a partially automated vehicle: Effects of anticipation and non-driving-related task involvement. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 205–215.

- Elander, J., West, R., & French, D. (1993). Behavioral correlates of individual differences in road-traffic crash risk: An examination of methods and findings. *Psychological Bulletin*, *113*, 279-294.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *37*(1), 32–64.
- Endsley, M. R., Bolté, B., & Jones, D. G. (2003). *Designing for situation awareness, an approach to user-centered design*. London & New York.
- Eriksson, A., Banks, V. A., & Stanton, N. A. (2017). Transition to Manual: comparing simulator with on-road control transitions. *Accident Analysis & Prevention*, *102*, 227–234.
- Gugerty, L. (1997). *Situation awareness in driving*. Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology, 1-8, 2011.
- Happee, R., Gold, C., Radlmayr, J., Hergeth, S., & Bengler, K. (2017). Take-over performance in evasive manoeuvres. *Accident Analysis & Prevention*, *106*, 211-222.
- Haué, J-B, Le Bellu, S. & Barbier, C. (2020). Le véhicule autonome : se désengager et se réengager dans la conduite, *Activités*, *17-1*, <https://journals.openedition.org/activites/4929>.
- Hoc, J.M. & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, *39* (2), 177-192.
- Hollnagel, E. & Woods, D. D. (2005). *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*. Boca Raton, FL: Taylor and Francis.
- Jamson, A. H., Merat, N., Carsten, O. M., & Lai, F. C. H. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C*, *30*, 116–125.
- Klein, G.A. (1995). *Studying situation awareness in the context of decision-making incidents*. In D.J. Garland & M.R. Endsley (Eds.) Experimental analysis and measurement of situation awareness. Florida: Embry-Riddle Aeronautical University Press
- Klein, G.A. (1997). *The Recognition-Primed Decision (RPD) model: looking back, looking forward*. In C.E. Zsombok & G.A. Klein (Eds.) Naturalistic Decision Making. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- Körber, M., Gold, C., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *39*, 19-32.
- Large, D. R., Banks, V., Burnett, G., Baverstock, S., & Skrypchuk, L. (2017). Exploring the Behaviour of Distracted Drivers during Different Levels of Automation in Driving. In 5th International Conference on Driver Distraction and Inattention. Paris, France.
- Le Bellu, S. & Forzy, J. F. (2019). Synthèse GT Recherche « Pédagogie pour les systèmes de conduite automatisés ». Rapport Renault. DEA-IRI/2019/01
- Louw, T., Markkula, G., Boer, E., Madigan, R., Carsten, O., & Merat, N. (2017). Coming back into the loop: drivers' perceptual-motor performance in critical events after automated driving. *Accident analysis and prevention*, *108*, 9-18.
- Lu, Z., Coster, X., & de Winter, J. (2017). How much time do drivers need to obtain situation awareness? A laboratory-based study of automated driving. *Applied Ergonomics*, *60*, 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.12.003>.
- Merat, N., & Jamson, A. H. (2008). How do drivers behave in a highly automated car? In Proceedings of the fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design (pp. 514–521). Iowa City.

Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C., Daly, M., & Carsten, O. M. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 274-282.

Naujoks, F., Purucker, C., & Neukum, A. (2016). Secondary task engagement and vehicle automation—Comparing the effects of different automation levels in an on-road experiment. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 38, 67-82.

Payre, W., Cestac, J., Dang, N.-T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 216–227.

Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M., & Bengler, K. (2014, September). How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 58, No. 1, pp. 2063-2067). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.

Reimer, B., Seppelt, B., Park, J., & Pettinato, A. (2016). Behavioral Impact of Drivers’ Roles in Automated Driving. In International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 217–224).

SAE International (2018). *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles* (SAE Standard J3016, Report No. J3016-201806). Warrendale, PA.

Solís-Marcos, I., Galvao-Carmona, A., & Kircher, K. (2017). Reduced attention allocation during short periods of partially automated driving: An event-related potentials study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11(November), 1–13.

Stanton, N. A., Salmon, P. M., Walker, G. H., Salas, E., & Hancock, P. A. (2017). State-of-science: situation awareness in individuals, teams and systems. *Ergonomics*, 60(4), 449–466.

Treat, L, Tumbas, N., McDonald, S., Shinar, D., Hume, R., Mayer, R., Stansifer, R., & Castellan, N. (1979). *Tri-level study of the causes of tragic accidents: Executive summary* (National Technical Information Services Technical Report No. DOTHS-805 099). Bloomington: University of Indiana.

Vahidi, A., & Eskandarian, A. (2003). Research advances in intelligent collision avoidance and adaptive cruise control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4(3), 143-153.

Van Den Beukel, A. P., & Van Der Voort, M. C. (2013, October). The influence of time-criticality on Situation Awareness when retrieving human control after automated driving. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)* (pp. 2000-2005).

Vlakveld, W., van Nes, N., de Bruin, J., Vissers, L., & van der Kroft, M. (2018). Situation awareness increases when drivers have more time to take over the wheel in a Level 3 automated car: A simulator study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 58, 917-929.

Wiener, E. L. (1989). Human factors of advanced technology ("glass cockpit") transport aircraft. (NASA Contractor Report No. 177528). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.

Wright, T. J., Samuel, S., Borowsky, A., Zilberstein, S., & Fisher, D. (2016). Experienced drivers are quicker to achieve situation awareness than inexperienced drivers in situations of transfer of control within a Level 3 autonomous environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 2016 Annual Meeting* (pp. 270–273).

Yousfi, E. (2018). Conscience de la situation et performance de conduite lors de la reprise en main en conduite automobile déléguée. Université Paris 8, Paris.

Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 212–221.

Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 230-239.