



HAL
open science

Engagement, désengagement puis réengagement entre tache de vie à bord et conduite manuelle : une approche cognitive des nouveaux enjeux du véhicule hautement automatisé

Marie Jaussein

► To cite this version:

Marie Jaussein. Engagement, désengagement puis réengagement entre tache de vie à bord et conduite manuelle : une approche cognitive des nouveaux enjeux du véhicule hautement automatisé. Sciences cognitives. Université de Lyon, 2021. Français. NNT : 2021LYSE2080 . tel-03882600

HAL Id: tel-03882600

<https://theses.hal.science/tel-03882600v1>

Submitted on 2 Dec 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.



N° d'ordre NNT : 2021LYSE2080

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 476

Neurosciences et Cognition

Discipline : Neuropsychologie

Soutenue publiquement le 10 décembre 2021, par :

Marie JAUSSEIN

Engagement, désengagement puis réengagement entre tâche de vie à bord et conduite manuelle.

*Une approche cognitive des nouveaux enjeux du véhicule
hautement automatisé.*

Devant le jury composé de :

Julie ALBENTOSA, Chercheuse, Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Présidente

Hélène SAUZÉON, Professeure des universités HDR, Université Bordeaux Sud, Rapporteur

Pascal SALEMBIER, Professeur des universités, Université de Troyes, Rapporteur

Heike MARTENSEN, Chercheuse, VIAS Institut Bruxelles, Examinatrice

Hélène TATTEGRAIN, Directrice de laboratoire / Chercheuse, Université Gustave Eiffel, Encadrante

Claude MARIN LAMELLET, Professeur des universités HDR, Université Gustave Eiffel, Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Patrimoine – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

THÈSE DE DOCTORAT
Université de Lyon

Spécialité
Sciences cognitives appliquées

Ecole Doctorale
ED 476 : Neurosciences et Cognition

ENGAGEMENT, DÉSENGAGEMENT PUIS RÉENGAGEMENT ENTRE
TACHE DE VIE À BORD ET CONDUITE MANUELLE : UNE APPROCHE
COGNITIVE DES NOUVEAUX ENJEUX DU VÉHICULE HAUTEMENT
AUTOMATISÉ

Par
Marie Jaussein

Sous la direction de :
Claude Marin-Lamellet, directeur de thèse
Hélène Tattegrain, encadrante

JURY

Hélène Sauzéon, Professeure, Centre Inria Bordeaux Sud-ouest-Uni Bordeaux	Rapporteure
Pascal Salembier, Professeur, Université de Troyes, LIST3N	Rapporteur
Julie Albentosa, Cheffe de projet de recherche, IRBA, Brétigny-sur-orge	Examinatrice
Heike Martensen, Chargée de recherche, Belgium Institute for Road Safety	Examinatrice
Hélène Tattegrain, Directrice du LESCOT et chargée de recherche, Uni Eiffel	Encadrante
Claude Marin-Lamellet, HDR, Directeur de recherche, Uni Eiffel	Directeur de thèse

Résumé

L'avènement des systèmes de conduite hautement automatisés crée d'importantes modifications de l'activité de conduite. Dans la relation Homme-Système, l'automate se voit attribuer de manière croissante le contrôle de la situation et même la responsabilité de la conduite. Dès lors que le conducteur délègue la responsabilité totale de la tâche de conduite au système automatisé, celle-ci ne devient plus son activité principale. Le champ est alors libre pour s'engager dans tout autres activités, que la Recherche nomme communément Tâches de Vie à Bord. Néanmoins, avant qu'il soit possible de se déplacer uniquement en mode autonome, des transitions de contrôle entre Homme et Système seront nécessaires, action nouvelle de la conduite. Cette nouvelle situation, impliquant de nombreux facteurs et peut-être en premier lieu celui qu'est l'humain mérite une grande attention. Il paraît capital d'étudier l'effet des activités réalisées avant cette transition sur la capacité du conducteur à reprendre le contrôle de la conduite. Les mécanismes attentionnels sont étudiés depuis de nombreuses années dans le cadre de la conduite automobile. S'agissant de tâches de vie à bord (TVB) durant la délégation de conduite, c'est davantage les phénomènes d'engagement dans une nouvelle tâche et les risques associés à une potentielle difficulté à se désengager pour répondre à un besoin de réengagement dans la tâche de conduite qui nous intéresseront tout particulièrement. Cette thèse expose les travaux menés pour l'étude de la situation de transition de contrôle non pas sous l'angle des changements d'état du système mais bien de ceux du conducteur. Nous proposons une approche de la transition de contrôle selon les trois grands états de l'engagement que le conducteur traversera et leur implication dans la performance de reprise en main du véhicule. Le premier chapitre traite à la fois de la transition de contrôle, pouvant être rencontrées dans des situations très diverses, et du caractère interdisciplinaire de la notion d'engagement. Elle se retrouve dans des théories traitant de divers mécanismes cognitifs. Ce que nous pouvons leur prêter de commun est qu'il est très souvent question de mobilisation de ressources et que cette mobilisation peut être propre à différents mécanismes indépendants et atteindre différents niveaux en fonction des situations. Nous abordons ces questions autour des concepts de ressources attentionnelles, de charge mentale de travail ou encore d'interruptibilité. Le second chapitre de ce manuscrit contient les travaux expérimentaux menés pour étudier cette situation de transition de contrôle entre un conducteur engagé dans une autre tâche que la conduite et le système automatisé. Un premier volet expérimental ayant récolté plus de 300 participations

aura permis de définir les outils d'évaluation subjective de l'engagement testés sur trois tâches différentes. Des outils d'évaluation du niveau d'interruptibilité des tâches, de la charge de travail et de l'état de stress ont été utilisés. Des différences de niveaux d'interruptibilité ont été observés entre tâche. L'engagement dans la tâche a montré un effet sur la performance lors d'un jeu de rotation mentale : plus les participants se sont déclarés engagés, plus leur score obtenu était élevé. De plus, les participants qui considéraient que la tâche suscitait une charge de travail élevée se sont également déclarés très concentrés pendant la tâche réalisée. Ces mesures ont été utilisées par la suite pour l'étude de la transition de contrôle en conditions simulées. En effet, la deuxième partie de ce chapitre décrit le second volet expérimental au cours duquel 44 conducteurs ont expérimenté des situations de transition de contrôle en simulateur de conduite. Les résultats montrent que le type de tâche influence les stratégies d'interruption choisies par le conducteur lors de la reprise en main. Ils montrent également que le déroulement de la phase de désengagement a davantage d'influence sur la qualité de conduite du participant que la phase d'engagement dans la tâche. Cependant, les participants les plus engagés dans leur NDRT sont ceux qui ont les temps de réaction les plus courts lors de la demande de reprise en main. Ces résultats montrent la distinction entre réagir et être pleinement engagé dans une nouvelle tâche. Ils semblent indiquer qu'au-delà de la tâche même, c'est le niveau d'engagement qui peut entraîner des comportements inappropriés et particulièrement, contrairement à ce qu'on pourrait croire, lorsque ce niveau est faible. Enfin, le dernier chapitre discute des enseignements tirés de ces travaux et notamment de la nécessité de prendre en compte les différents états du conducteur dans l'étude de la performance de reprise de contrôle. Une distinction particulière est observée et discutée entre chacun des trois états de l'engagement observés lors de l'expérimentation sur simulateur. Nous proposons enfin un modèle de l'évolution de ces états d'engagement dans le contexte du passage d'une tâche à une autre, déclenché par un signal extérieur.

Abstract

The advent of highly automated driving systems creates important changes in the driving activity. In the human-system relationship, the automaton is increasingly given more control of the situation and even the responsibility for driving. As soon as the driver delegates the total responsibility of the driving task to the automated system, it no longer is his main activity. The driver is then free to engage in other activities, which research commonly calls the Non-Driving-Related Tasks (NDRT). Nevertheless, before the release of fully-autonomous vehicles, regular transitions of control between Human and System will be necessary, which are a new driving action. This new situation, involving many factors and probably, firstly the human factor, deserves a great attention. The study of NDRTs' effects on the driver's ability to regain control of the driving is essential. Attentional mechanisms have been studied for many years in the context of driving. In the case of NDRT during a driving delegation phase, we will focus on the phenomena of engagement in a new task and the risks associated with a potential difficulty to disengage in order to respond to a need to reengage in the driving task. This thesis work studies the control transition situation not from the point of view of the system's but from the driver's point of view. We propose an approach to the control transition according to the three main states of engagement that the driver will go through and their implication in the vehicle's takeover performance. The first chapter deals with both the transition of control, which can happen in very diverse situations, and the interdisciplinary nature of the engagement concept. It is found in theories dealing with various cognitive mechanisms. The question of the implication of a mobilization of resources is often discussed and how this mobilization can be specific to different independent mechanisms and reach different levels depending on the situation. We discuss these questions around the concepts of attentional resources, mental workload or interruptibility. The second chapter of this manuscript contains the experimental work carried out to study this control transition situation between a driver engaged in another task than driving and the automated system. An initial experimental phase, which gathered more than 300 participants, made it possible to define the subjective evaluation tools of engagement mechanisms, tested on three different tasks. Tools for evaluating the level of task interruptibility, workload and stress were used. Differences in levels of interruptibility were observed between tasks. Task engagement showed an effect on performance in a mental rotation game: the more engaged participants reported being, the higher their score. In addition, participants who considered

the task to have a high workload also reported high concentration during the task performed. These measures were then used to study the control transition in simulated conditions. Indeed, the second part of this chapter describes the second experimentation which received 44 drivers who experienced control transition situations in a driving simulator. The results show that the type of task influences the interruption strategies chosen by the driver during the control transition. They also show that the course of the disengagement phase has more influence on the participant's driving quality than the task engagement phase. However, the participants who are most engaged in their NDRT have the shortest reaction times during the takeover request. These results show the distinction between reacting and being fully engaged in a new task. They seem to indicate that beyond the task itself, it is the level of engagement that can lead to inappropriate behaviors and particularly, contrary to what one might think, when this level is low. Finally, the last chapter discusses the lessons learned from this work and in particular the need to take into account the different states of the driver in the study of the performance of regaining control. A particular distinction is observed and discussed between each of the three states of engagement in the context of a simulator experiment. Finally, we propose a model of the evolution of these states of engagement in the context of the transition from one task to another, triggered by an external signal.

Remerciements

Pour mener à bien une thèse, de nombreux paramètres doivent être réunis.

D'abord, sur le plan structurel, je remercie l'Université Gustave Eiffel de m'avoir permis de réaliser cette thèse grâce à la bourse qui m'a été attribuée ainsi que l'Ecole Doctorale NSCo pour l'attention portée au déroulement de mon doctorat. Plus précisément, j'aimerais remercier le campus de Bron et le LESCOT pour les bonnes conditions dans lesquelles j'ai pu travailler. Nathalie, Hélène et Aline, par une attention particulière portée à chaque cas, contribuent chaque jour au bien-être des agents du LESCOT. Je souhaitais particulièrement les en remercier pour cela.

J'ai également conscience de l'importance du cadre de travail dans lequel j'ai pu évoluer. J'aimerais donc remercier en premier lieu mon directeur de thèse, Claude Marin-Lamellet, pour sa bienveillance à mon égard, sa patience aussi et pour tout ce qu'il a su me transmettre de son expérience. Je remercie l'ensemble des membres du laboratoire pour leur petites, moyennes et grandes contributions à mes travaux. Ceux qui ont accepté de passer plusieurs fois mes crash-tests expérimentaux, patientant de nombreuses minutes le temps que mon programme daigne fonctionner à nouveaux. Jonathan, Adolphe, Marie, Sébastien et d'autres. Ou encore ceux qui m'ont aidé à avancer intellectuellement par des discussions passionnantes. J'ai appris que la recherche, loin d'être une course aux résultats, est une contribution constante à la quête du consensus scientifique, seul et vrai aboutissement d'un travail collectif. Merci à tous les titulaires qui ont bien voulu prendre de leur temps pour me partager leur expérience, Joceline, Thierry, Laurence, Christophe, Marie-Pierre, Aline.

Un grand merci à l'équipe technique qui, comme pour chaque nouveau projet, a su faire avec les objectifs et les contraintes de mes travaux pour m'accompagner dans la construction de mon expérimentation. Merci à Daniel pour sa patience, à Romain, Fabien, et à Bertrand pour sa disponibilité et sa persévérance face aux nombreux problèmes qu'il a su résoudre.

Et puis parfois, dans une thèse, tout ne se passe pas comme on l'espérait. Dans mon cas, la seule chose que je retiens de cette période est l'immense soutien que j'ai reçu de la part de mes collègues. Merci à Hélène, Marie, Sébastien, Jonathan, Adolphe, Isabelle, Guillaume. Un merci aussi à Alexandra, Maud.

Je souhaiterais tout particulièrement remercier mon comité de suivi de thèse qui a joué pleinement son rôle et m'a été d'une grande aide. Merci donc à Aurélie Bidet-Caulet, Jean-Marc André et Thierry Bellet.

Je voudrais également remercier mes appuis extérieurs. Mes amies Sylvia, Alice et Coralie qui se sont intéressées à mes travaux et m'ont continuellement encouragée dans mon projet. Merci à Clément également qui porte fidèlement ce projet avec moi depuis sa genèse. Merci à mes anciens collègues d'Akiani : Sami, Axel, Jean-Christophe et Mathilde qui m'ont chacun aidé à différentes étapes de ma thèse.

Je voudrais également remercier les enseignants des deux écoles d'ingénieur dans lesquelles j'ai eu la chance de donner cours pendant mon doctorat. Merci donc à mes collègues de Polytech Lyon et de l'ENSC pour votre confiance. Je prends beaucoup de plaisir à mener à bien les projets pédagogiques de chaque nouvelle année.

Merci tout particulièrement à Jean-Marc André pour son soutien à distance et ses conseils avisés pour ma thèse et la suite de ma carrière.

Enfin, je voudrais témoigner toute ma reconnaissance et ma gratitude à Hélène Tattegrain pour son soutien inconditionnel lors de moments délicats que nous avons traversés ensemble ainsi que pour ces années de travail en équipe dont je retire de nombreux enseignements. J'avais conscience qu'en partant d'une formation d'ingénieur j'allais devoir apprendre beaucoup pour mener à bien mon projet de recherche mais je ne m'attendais pas à ce que cet enrichissement m'apporte autant de satisfaction. Sachez que je vous en sais gré.

Table des matières

I.	Introduction Générale.....	17
A.	Contexte.....	17
B.	Problématique.....	19
II.	Cadre théorique.....	21
A.	Conduite automobile, automatisation et conducteur : contexte et définitions.....	21
1.	La tâche de conduite	21
2.	Les niveaux d'automatisation	25
3.	La transition de contrôle	30
4.	La criticité de la reprise en main.....	33
B.	Impact de l'introduction de l'automatisation dans la tâche de conduite	34
C.	Les Tâches de Vie à Bord.....	39
1.	Questions de recherche et approches de la littérature.....	39
2.	Recensement et classification des TVB.....	40
a.	Les travaux de référence sur la distraction en conduite manuelle : une première piste	41
b.	Les études sur les Tâches de Vie à Bord : approches de classification	44
D.	Théories de l'engagement et Concepts associés.....	47
1.	Approches de l'engagement.....	48
2.	Attention et Ressources	50
3.	La Charge de travail ou Workload.....	54
4.	L'effort d'interruption ou Interruptibilité	58
5.	L'engagement dans la tâche en tant que facteurs du stress.....	60
E.	L'engagement dans une TVB en condition simulée de transition de contrôle : manipulation et évaluation (Article 1)	62

1.	Résumé de l'article	62
2.	Contenu de l'article.....	63
	I. Introduction	64
	II. The Manipulation of Engagement.....	67
	III. The Evaluation of Task Engagement.....	76
	IV. Discussion.....	83
	V. Conclusion	88
	VI. Conflict of Interest.....	89
	VII. Author Contributions.....	89
	VIII. References.....	89
III.	Méthodologie.....	101
	A. Problématique.....	101
	B. Hypothèses de recherche	104
	C. Démarche expérimentale	107
	D. Mesures des différentes étapes de la transition de contrôle.....	108
	1. Mesures de l'engagement dans une TVB	108
	a. La charge de travail	108
	b. Le Dundee Stress State Questionnaire.....	109
	c. Mesures du niveau d'interruptibilité d'une tâche	111
	d. Les patterns visuels.....	113
	2. Mesures du désengagement d'une TVB	113
	a. Interruption de la TVB	113
	b. Temps pour mettre fin à la TVB.....	113
	3. Mesures du réengagement dans la tâche de conduite	114
	a. Les temps de reprise en main	115
	b. La qualité de la reprise en main.....	116

E.	Résumé des mesures.....	117
IV.	Partie expérimentale	119
A.	Détermination des mesures subjectives de l’engagement dans des tâches de vie à bord : étude pilote (Article 2).....	119
1.	Résumé de l’article	119
2.	Méthode et matériel : informations complémentaires	120
a.	Support d’enquête et de recueil des données.....	120
b.	Tâches.....	120
3.	Contenu de l’article.....	122
I.	Theoretical background.....	123
II.	Method	125
III.	Results.....	129
IV.	Discussion.....	133
V.	Conclusion	134
VI.	Acknowledgement	135
VII.	References	135
4.	Résultats complémentaires.....	139
B.	Comment le facteur humain devrait-il être pris en compte dans l’étude de la reprise en main d’un véhicule hautement automatisé ? Une expérimentation en simulateur de conduite (Article 3).....	141
1.	Résumé.....	141
2.	Méthode et matériel : informations complémentaires	143
Le simulateur de conduite.....	143	
Scenarios.....	143	
Les Tâches de Vie à Bord.....	144	
3.	Contenu de l’article.....	146

I.	Introduction	147
II.	Material and methods	150
III.	Data acquisition and analysis.....	155
IV.	Results	157
V.	Discussion	162
VI.	Conclusions	165
VII.	Aknowledgement.....	166
VIII.	References	166
V.	Synthèse, discussion et perspectives	169
A.	Synthèse.....	169
B.	Discussion.....	171
C.	Limites et perspectives	179
VI.	Bibliographie	182
VII.	Annexe : Version française du Dundee Stress State Questionnaire	206

Table des figures

Figure 1 - Modèle croisé de la hiérarchie de Michon (1985) à droite et des niveaux de comportements de Rasmussen (1983) à gauche, par Donges (1999).....	24
Figure 2 - Niveaux d'automatisation par phase de traitement de l'information pour deux systèmes (Parasuraman, Sheridan, and Wickens (2000), © IEEE)	26
Figure 3 : Modèle de la transition de contrôle d'un système à un conducteur (Marberger et al., 2017)	32
Figure 4 - Déroulement d'une reprise en main selon Naujoks et al. (2018)	45
Figure 5 : Illustration de la "Bottleneck Theory" de Broadbent.....	51
Figure 6 : Illustration de la théorie des ressources multiples (MRT) de Wickens (1984).....	52
Figure 7 : Proposition d'une visualisation de la théorie des ressources malléables de Young et Stanton (2002)	54
Figure 8 : Les étapes d'une situation de multi-tâches selon Salvucci et al. (2009)	59
Figure 9: Illustration of task engagement manipulation in the selected studies.....	68
Figure 10: Illustration of task engagement measurements in the selected studies	76
Figure 11: Illustration of the recurrence of the NDRTs used in the selected articles.....	83
Figure 12: Illustration of different ways to investigate a control transition, from system to driver	85
Figure 13: Illustration of the attribution of reviewed articles measurements to each control phase according to engagement mechanisms	88
Figure 14 : Rappel de l'illustration des différentes approches de la transition de contrôle (Jaussein et al., 2021).....	105
Figure 15 - Example of mental rotation game item.....	126
Figure 16 - Protocol steps for an activity	126
Figure 17 - Online study protocol.....	127
Figure 18 - Variation of the MRscore in function of task engagement groups (from low to high)	131
Figure 19 - Variations of WL for the mental rotation game in function of task engagement groups	132

Figure 20 - Variations mental rotation game ITP in the case of a visual notification (ITP_visual) in function of task engagement groups.....	132
Figure 21 - Interruptibility level differences between activities.....	132
Figure 22 : Niveau de dérangement imaginé si une information de navigation était apparue pendant la tâche que les participants venaient de réaliser.....	139
Figure 23 : Illustration of different ways to investigate a control transition, from system to driver (Jaussein et al., 2021)	148
Figure 24 : Illustration of the simulator used for the experiment.....	151
Figure 25 : Illustration of the communication system through the central screen	152
Figure 26 : Illustration of the ndrts (reading an article, watching a video and playing the tetris game)	153
Figure 27 : Pearson's correlation between behavioural and driving variables	157
Figure 28 : Illustration of task type effects on the number of gazes at the road during the ndr (a), on the speed standard deviation over the 8 seconds after the system deactivation (b) and the tendency to manipulate the smartphone after takeover (b).....	158
Figure 29 : Illustration of the effect of task type on the time taken from the takeover request to initiation of smartphone release (A), the time taken to look at the road (B) and the time taken to reach system deactivation (C) in seconds.....	159
Figure 30 : Illustration of the effect of the level of task engagement on the time taken to initiate smartphone release (a) and the time taken to place hands on the steering wheel(b).....	161
Figure 31 : Illustration of the effect of the task type on the annoyance felt from the interruptibility questionnaire (a) and on the declared effort from the nasa-tlx scale (b)	162
Figure 32 : Illustration of the use of different variables to measure driver state in each transition phase according to Jaussein et al.,'s model (Jaussein et al., 2021).....	164
Figure 33 : Illustration du déroulement de la gestion de la fin de TVB sur smartphone lors de la transition de contrôle	177
Figure 34 : Evolution des états d'engagement lors du passage d'une tâche 1 à une tâche 2 déclenché par un signal extérieur	178

Liste des tableaux

Tableau 1 - Taxonomie des niveaux d'automatisation selon Sheridan (1992)	25
Tableau 2 - Niveaux d'automatisation (Endsley et Kaber, 1999)	27
Tableau 3 - Levels of driving automation for on-road vehicles, Safety Automobile Engineering International's J3016	29
Tableau 4 : Olson 2009: Assignment of Task Categories into Three Levels of Manual/Visual Complexity	42
Tableau 5 - Niveau de difficulté traité par un automate (Iqbal & Bailey, 2006)	43
Tableau 6 : Hypothèses théoriques et opérationnelles de la première étude (enquête en ligne) ..	106
Tableau 7 : Hypothèses théoriques et opérationnelles de la seconde étude (expérimentation sur simulateur)	107
Tableau 8 : Les quatre échelles composant le facteur "Task Engagement" du DSSQ	111
Tableau 9 : Variables dépendantes utilisées dans les études de l'interruptibilité	112
Tableau 10 : Variables de temps de reprise en man utilisées dans l'expérimentation sur simulateur	116
Tableau 11 : Catégorisation des mesures de performances de reprise en main dans la méta-analyse de déterminées par Weaver & DeLucia (2020)	117
Tableau 12 : Reprise des hypothèses théoriques et opérationnelles de la première étude (enquête en ligne)	174
Tableau 13 : Reprise des hypothèses théoriques et opérationnelles de la seconde étude (expérimentation sur simulateur)	175

II. Introduction Générale

Cette première partie a pour objectif de présenter le contexte technologique et sociétal qui a guidé la construction du cadre théorique de cette thèse afin de présenter la problématique, point de départ de ces travaux.

A. Contexte

"If we build systems where people are rarely required to respond,
they will rarely respond when required."

Hancock, 2014

La conduite d'un système, quel qu'il soit, a toujours nécessité l'attention d'un pilote. Cette vérité est bousculée par l'avènement des automates, poussant à une redéfinition de la notion de pilotage ou de conduite lorsque l'activité est partagée entre un système et un humain. L'automatisation des systèmes de conduite est en constante évolution depuis le début du XXème siècle. Parmi les précurseurs du domaine se trouve l'industrie aéronautique dont les premières grandes avancées datent de cette époque. Les premières fonctionnalités automatisées permettaient notamment de voler à cap et altitude constants. L'automatisation s'est peu à peu étendue à différents secteurs de l'industrie jusqu'à celui de l'automobile qui présenta dans les années 1970 les premiers modèles capables d'assurer l'activité de conduite en totale autonomie dans des conditions routières compatibles. En 1987, la Commission Européenne investit dans le programme européen Prometheus, à hauteur de 800 millions d'euros¹. Les deux dernières décennies ont été fortement marquées par l'accélération technologique des systèmes d'assistance à la conduite, amenant les constructeurs à proposer des modes de conduite de plus en plus automatisés. Des véhicules dotés de telles fonctionnalités sont aujourd'hui déployés et disponibles sur le marché même si le cadre légal de leur usage est difficilement compréhensible par les usagers, ne permettant pas d'exploiter la totalité du grand potentiel de ces systèmes novateurs. En 2014, le constructeur Tesla annonçait

¹ <https://science.tbs-education.fr/2019/12/15/lhistoire-du-vehicule-autonome-ses-debuts/>

l'arrivée de son système AutoPilot dans ses modèles automobiles. Cependant, depuis lors, le conducteur se doit toujours de garder son attention sur l'environnement routier (selon la consigne du constructeur lui-même). L'ensemble des instances impliquées dans les décisions relatives à l'usage et à la sécurité de tels véhicules travaillent depuis plusieurs années pour assurer la sécurité des usagers face à la démocratisation, encore relative certes, de cette nouvelle technologie. Comme pour le secteur aérien, élève modèle du management de la sécurité², l'essor de la conduite automatisée est considéré comme l'une des plus grandes révolutions de la mobilité dans le secteur automobile. D'aucuns considèrent qu'elle a le potentiel de réduire considérablement le nombre d'accidents, d'embouteillages et même à termes de propriétaires de véhicules. Pour atteindre le statut d'avancée technologique bénéfique pour la sécurité que lui confèrent d'ores et déjà certains pronostics, le véhicule comportant un mode de délégation de conduite – dénommé véhicule hautement automatisé – doit garantir un niveau de gestion du risque à la hauteur de la complexité de l'environnement routier mais aussi à la hauteur des enjeux relatifs à une interaction entre un Humain et un Système. Déjà, pour les pilotes aériens, il a rapidement été question de l'effet de la délégation du pilotage à un automate sur la capacité à répondre correctement à une situation de transition de contrôle. La perte de la conscience de la situation, la capacité à « switcher » d'une activité à une autre et le maintien d'un niveau d'attention nécessaire ont été identifiés comme les points cruciaux d'une bonne coopération entre le pilote et son système. Dans le cadre du véhicule hautement automatisé (VHA), la possibilité de déléguer le contrôle à un système automatisé offre au conducteur de nouvelles perspectives concernant ses activités à bord. Pour lui, c'est l'occasion de se tourner vers diverses occupations. Pour les instances de sécurité routière, cette ouverture vers la diversification des activités à bord apporte une complexité supplémentaire dans l'interaction entre le Système et l'Homme qui comporte des risques potentiels tant que cette interaction demeure nécessaire. Le 1^{er} Juillet 2021, un décret modifiant le code de la route français a été publié afin d'y intégrer le cas des véhicules automatisés³. Sans définir précisément le cadre des activités qu'il sera

² <https://www.usinenouvelle.com/article/comment-le-secteur-aerien-vise-le-zero-accident.N849995>

³ Décret n° 2021-873 du 29 juin 2021 portant application de l'ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation

possible de réaliser pendant que le mode autonome sera activé, le décret somme le conducteur de « se tenir constamment en état et en position de répondre à une demande de reprise en main ». Dans le cas de la conduite automobile classique, il est interdit d'utiliser son téléphone portable sans système de connexion bluetooth, il est en revanche autorisé d'écouter de la musique ou de discuter avec des passagers. Qu'en sera-il lors des phases d'automatisation ? Les instances de sécurité vont-elles autoriser tout type d'activités ? Le conducteur sera-t-il dans cet « état » requis par la loi qu'il soit engagé dans une activité ou une autre ?

B. Problématique

Dans un contexte où l'automatisation demeure imparfaite, il est décisif de garantir que l'introduction d'un automate dans l'activité de conduite ne dégradera pas la capacité des conducteurs à assurer la conduite manuelle lorsque celle-ci sera requise. Un des enjeux principaux dans le cadre d'un usage individuel est d'identifier l'influence qu'aura l'introduction d'un système automatisé sur le comportement humain et à fortiori sur sa cognition afin d'anticiper les risques potentiels qui lui sont associés. Plusieurs études ont fait état d'une appétence forte du conducteur pour diverses activités lorsqu'un mode de délégation serait activé (D. Large et al., 2020; Pflieger et al., 2016). L'utilisation de supports numériques pour le divertissement ou la communication est l'un des choix apparaissant le plus souvent lorsque le conducteur est libre de se tourner vers autre chose que la gestion de l'environnement routier. Depuis l'annonce de l'arrivée de l'automatisation de la conduite, de nombreuses études se sont légitimement intéressées aux performances de reprise de contrôle du véhicule par le conducteur, légitime. En revanche, la question de l'influence de la distraction du conducteur sous l'angle de l'engagement dans une tâche de divertissement sur la capacité de reprise de contrôle et le cadre théorique permettant de l'explorer ont été moins abordés. Pourtant, lorsqu'une reprise en main sera nécessaire, ce sont bien des mécanismes de désengagement de la tâche en cours et de réengagement dans une nouvelle tâche que le conducteur activera. Les travaux de cette thèse ont pour objectif de proposer puis de mettre en œuvre une approche de la transition de contrôle centrée sur la cognition du conducteur, et particulièrement sur ceux d'engagement et de désengagement d'une tâche, puis de réengagement par opposition à l'approche techno-centrée actuelle et dominante en testant des outils de mesures de ces différents stades en fonction de diverses tâches de vie à bord.

III. Cadre théorique

A. Conduite automobile, automatisation et conducteur : contexte et définitions

« L'utilisateur peut aussi être vu comme barrière dans le chemin de l'évolution de la voiture vers l'autonomie. C'est un sujet sérieux pour les industriels à prendre en compte tout particulièrement dans la conception de l'interaction entre l'utilisateur et la technologie »

(König & Neumayr, 2017)

Les incessantes percées technologiques dans le domaine de l'assistance à la conduite et les véhicules hautement automatisés annoncent une nouvelle ère de la mobilité. Toutefois, dans un contexte où l'automatisation n'est pas encore capable de remplacer le conducteur dans toutes les situations de conduite (Martens & van den Beukel, 2013), il est primordial de s'assurer que le système d'automatisation de la conduite n'apporte pas in fine de nouveaux usages et comportements qui pourraient s'avérer délétères. A chaque avancée technologique, la sécurité des passagers et des usagers de la route doit être au moins maintenue. Il est donc nécessaire d'intégrer dès la conception du système automatisé de conduite, la problématique des interactions entre système et conducteur afin de la concevoir au mieux, en fonction des capacités de ces deux entités. A l'instar de l'aéronautique, le domaine de l'automobile accorde une place constamment grandissante à l'automatisation (M. R. Endsley, 2017). Tout comme l'ont fait les experts de l'aéronautique, les concepteurs d'aide à la conduite (Advanced driver-assistance systems – ADAS) doivent prendre en compte les modifications de l'activité de conduite que vont apporter l'introduction de ces outils technologiques.

1. La tâche de conduite

Dans sa thèse sur la mesure de la charge de travail du conducteur, DeWaard (1996) définit la tâche de conduite comme une tâche très dynamique dans un environnement changeant (« Driving is a very dynamic task in a changing environment »). Deux aspects majeurs sont pointés dans cette définition concise. Le premier est le caractère dynamique de la conduite puisqu'elle requiert l'activation parallèle d'un nombre important de compétences, aussi bien motrices que cognitives. La seconde est que l'environnement est constamment changeant, qu'il peut changer en passant par

exemple de situations simples à très complexes (autoroute peu fréquentée versus centre-ville de Paris). Dans le cas de l'automatisation partielle de la conduite, ces deux aspects sont bouleversés. La tâche très dynamique peut être complètement gérée sur les portions simples de route (comme sur autoroute ou nationale). Ce sont les routes avec l'environnement le plus complexe qui sont à la charge du conducteur (trafic dense, urbain). L'environnement reste changeant lorsque le conducteur reste aux commandes, mais peut-on parler d'environnement changeant pour le conducteur lorsque le contrôle du véhicule est délégué à l'automate ? De nombreux travaux ont mis en avant une perte de la conscience de la situation du moment que l'automate était aux commandes. Ces deux aspects qui définissaient jusqu'à présent la conduite sont remis en question dans le cas du véhicule hautement automatisé. L'analyse des tâches de conduite et la modélisation du comportement du conducteur dans le domaine des facteurs humains sont menées depuis plus de 60 ans, et divers modèles théoriques ont été développés, visant à améliorer la sécurité de conduite et l'éducation des conducteurs. Carsten a souligné que la variété des modèles de tâche de conduite est presque aussi nombreuse que le nombre d'auteurs qui ont contribué à leur conception (Carsten, 2007). Généralement, deux modèles servent de points de départ : le modèle général Habiletés-Règles-Connaissances de Rasmussen et le modèle hiérarchique de la tâche de conduite proposé par Michon (Rasmussen, 1983; Michon, 1985).

Rasmussen a proposé un modèle du fonctionnement des activités sensori-motrices. Selon ce modèle, elles peuvent être subdivisées en trois catégories comportementales :

- **Knowledge-based Behaviour** : Elles sont utilisées dans des situations de demande complexes pour lesquelles l'être humain n'est pas préparé et qui exigent de lui une réponse jusqu'alors inconnue. Cette forme de comportement se caractérise essentiellement par l'analyse de diverses alternatives comportementales au regard de leur aptitude à atteindre l'objectif fixé. Ceci se réalise grâce à des processus mentaux fondés sur les connaissances disponibles, après quoi l'alternative jugée la plus appropriée est traduite en actions par voie motrice.
- **Rule-based Behaviour** : Ce niveau suivant de comportement est basé sur des règles. Il se distingue de la première catégorie de comportement décrite ci-dessus par le fait qu'il s'appuie sur des situations associées qui se sont déjà produites, plutôt fréquemment, lors d'événements antérieurs. Dans ce cas, l'être humain possède déjà un répertoire de modèles

comportementaux (appelé Règles) stockés dont la version la plus efficace est choisie en fonction de l'expérience subjective.

- **Skill-based Behaviour** : ce troisième niveau est décrit comme un comportement basé sur les habiletés. Elle se caractérise par des mécanismes stimulus-réponse de l'ordre du réflexe, répétés dans un processus plus ou moins long et qui se déroulent dans un flux automatique et régulier qui n'a plus besoin d'être surveillé consciemment. Les compétences acquises de ce type sont les formes de comportement humain les plus efficaces en termes de temps. Un tel processus basé sur les habiletés est quasi-autonome et laisse même une certaine marge de manœuvre pour des activités secondaires qui ne doivent pas nécessairement être liées à la tâche.

Pour sa part, Michon a divisé la tâche de conduite en trois niveaux : un niveau stratégique, un niveau tactique, et un niveau de contrôle. Le niveau le plus élevé est le niveau stratégique, dans lequel les décisions sont prises. Par exemple, il s'agit de la détermination des objectifs de déplacements ou encore la sélection des itinéraires, etc. Le niveau intermédiaire, le niveau tactique, comprend les décisions immédiates pour que la conduite soit adaptée à la situation en cours. Il s'agit ici du choix de la voie de circulation et de la vitesse de conduite par exemple, de la gestion des obstacles et événements relatifs à l'environnement routier mais aussi des comportements des autres participants à la circulation. Le niveau le plus bas est le niveau de contrôle constitué des processus de base nécessaires au contrôle du véhicule, tels que le contrôle latéral, la régulation constante de la vitesse, la direction, etc. à ce niveau, le conducteur est majoritairement lui-même dans un « mode automatique ».

Donges (1999) a lié le modèle hiérarchique de Michon au modèle de connaissances-règles-compétences de Rasmussen (1983) de la performance humaine (voir la Figure 1).

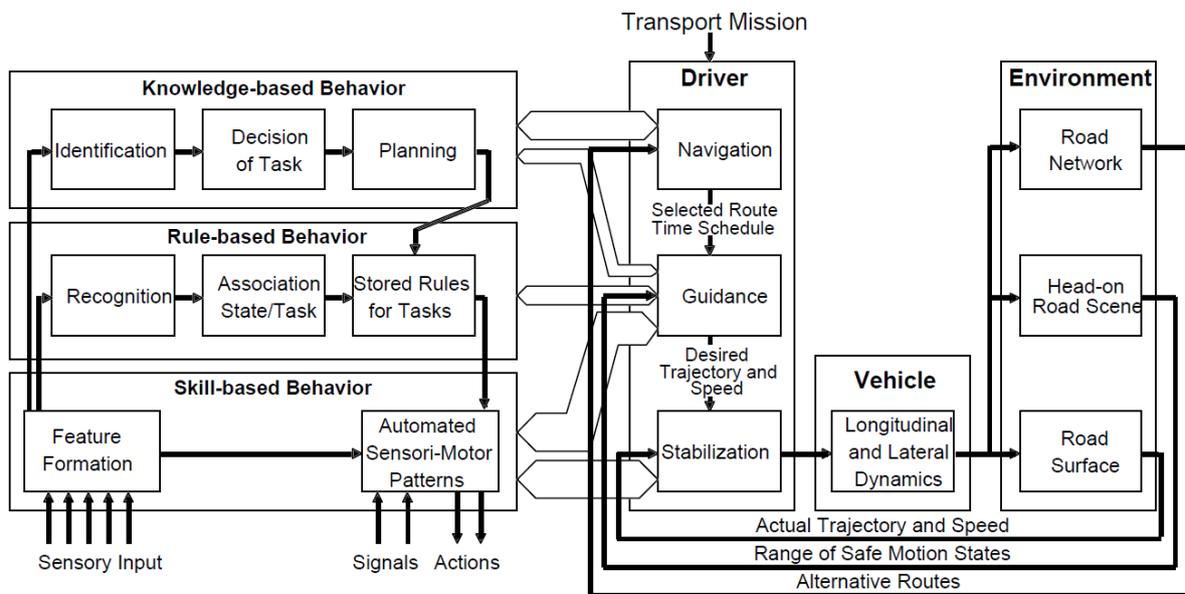


Figure 1 - Modèle croisé de la hiérarchie de Michon (1985) à droite et des niveaux de comportements de Rasmussen (1983) à gauche, par Donges (1999)

La partie gauche de cette figure montre les niveaux de tâche selon la théorie de Rasmussen (1983). En associant le modèle de Rasmussen au modèle de Michon, le niveau basé sur les compétences est principalement appliqué au niveau de contrôle. Le comportement basé sur des règles se rapporte la plupart du temps au niveau de manœuvre, dans lequel des interactions standard avec d'autres usagers de la route se produisent fréquemment. Le niveau basé sur les connaissances est lui relié au niveau stratégique pour le conducteur expérimenté lorsqu'il est confronté à des réseaux de circulation inconnus. Mais il peut avoir d'autres liens comme par exemple lorsque le conducteur se retrouve dans une situation routière nouvelle (Guidance est alors liée à Knowledge). De Waard a souligné que les demandes des trois niveaux du modèle de Michon peuvent dépasser la capacité et peuvent affecter la charge de travail mentale et les performances du conducteur (De Waard & Brookhuis, 1996).

Dès que l'expérience appropriée a donc été acquise, la participation à la circulation routière devient une routine quotidienne qui peut être réalisée presque entièrement au niveau du comportement basé sur les compétences. Seule l'émergence inattendue de conditions critiques perturbe l'équilibre décrit par Rasmussen et obligerait le conducteur à se tourner vers d'autres niveaux de comportements basés sur les règles ou les connaissances afin de répondre à la situation. Dans le cas de la conduite automobile, Donges rappelle que le niveau de comportement fondé sur la connaissance doit toujours être classé comme préoccupant dès lors que la vitesse et la distance jusqu'à la zone dangereuse ne laissent plus suffisamment de temps au conducteur pour élaborer et mettre en œuvre une manœuvre

sécuritaire (Donges, 1999). Il préconise une conception des systèmes de conduite automatisée adaptée au principe de conduite humaine basée sur les compétences afin que les automatismes appris soient le moins perturbés par l'intervention du système ou par des interactions nouvelles entre Machine et Humain qui ferait sortir le conducteur de ce niveau de comportement basé sur les compétences.

2. Les niveaux d'automatisation

La répartition des tâches entre Humain et Système ainsi que son caractère variable a conduit à la définition de niveaux d'automatisation allant d'un bout du spectre à l'autre : du contrôle manuel total à l'autonomie totale. Ces niveaux font référence aux degrés auxquels une fonction particulière est attribuée au contrôle et à l'exécution de la machine (Sheridan, 1992). Dans sa hiérarchisation des niveaux d'automatisation d'un système sous l'angle de la responsabilité de la réalisation des actions nécessaires à l'activité, Sheridan propose une classification principalement en fonction de l'allocation de la prise de décision entre l'Humain et le Système (Tableau 1).

Tableau 1 - Taxonomie des niveaux d'automatisation selon Sheridan (1992)

Level	Definition
1	The computer offers no assistance, human must do it all
2	The computer offers a complete set of action alternatives, and
3	Narrows the selection down to a few, or
4	Suggests one, and
5	Executes that suggestion if the human approves, or
6	Allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
7	Executes automatically, then necessarily informs the human, or
8	Informs him after execution only if he asks, or
9	Informs him after execution if it, the computer, decides to

La taxonomie de Sheridan se concentre principalement sur l'automatisation de la décision et de l'exécution des actions. Afin de surmonter cette limitation et d'approfondir ces premiers travaux, Parasuraman, Sheridan et Wickens proposent une approche où l'automatisation peut avoir lieu à toutes les étapes d'un modèle simplifié du traitement de l'information (Parasuraman et al., 2000). Cette approche permet d'illustrer le principe qu'un système peut impliquer différents degrés

d'automatisation (de faible à élevé) sur quatre étapes de traitement de l'information (voir les exemples de systèmes A et B sur la Figure 2) :

- L'acquisition de l'information
- L'analyse de l'information
- La sélection de la décision
- L'implémentation de l'action

L'automatisation au stade de l'acquisition d'informations (le stade le plus à gauche de la figure) s'applique aux systèmes qui sont capables d'assurer des processus d'attention sensorielle ou sélective humaine. Un faible niveau d'automatisation peut faire référence, par exemple, à un avertissement non spécifique, tandis qu'un niveau supérieur peut impliquer un avertissement dirigé avec une certaine quantité d'informations contextuelles.

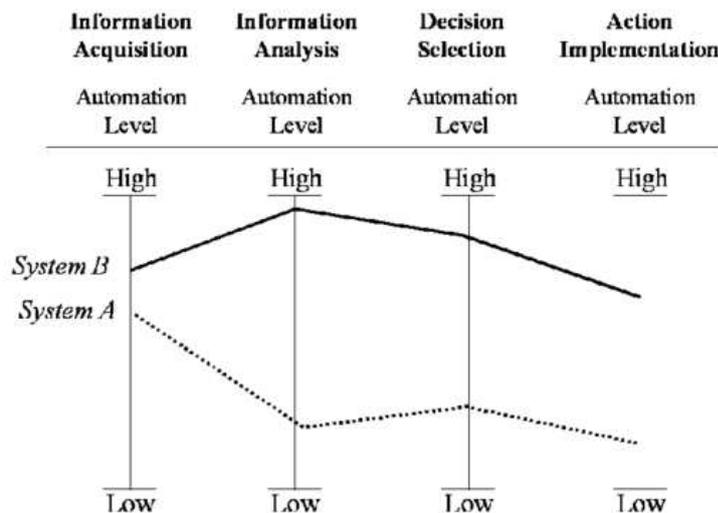


Figure 2 - Niveaux d'automatisation par phase de traitement de l'information pour deux systèmes (Parasuraman, Sheridan, and Wickens (2000), © IEEE)

L'automatisation de la phase d'analyse de l'information fait référence, par exemple, au prétraitement des données entrantes (automatisation de bas niveau) ou à la combinaison de plusieurs mesures en une valeur intégrée pour assister l'opérateur humain (automatisation de plus haut niveau). L'automatisation au stade de la sélection des décisions fait référence aux systèmes qui fournissent une liste d'action alternatives (bas niveau) ou un seul meilleur choix (haut niveau). Enfin, l'exécution physique de l'action sélectionnée peut être effectuée manuellement ou par une machine.

La taxonomie en dix niveaux d'un système automatisé d'Endsley et al. est un modèle applicable à un large panel de domaines, notamment la navigation et le contrôle aérien dont se rapproche la

conduite de voitures automatisées sur certains aspects (M. R. Endsley & Kaber, 1999). La conduite complètement automatisée se situerait aux niveaux 9 ou 10, en fonction de la nécessité de superviser le système (Tableau 2). En comparant cette approche de l'automatisation à celle de Sheridan puis de Parasuraman, Sheridan et Wickens, celle d'Endsley et Kaber apporte plus de précisions sur la répartition des rôles notamment grâce à la division de la tâche de conduite en quatre principales fonctions : contrôler – « Monitoring », surveiller des différentes sources d'informations nécessaires à la réalisation de la tâche – ; générer – « Generating », formulation des options ou des stratégies pour atteindre les objectifs – ; sélectionner – « Selecting », décider d'une option particulière ou stratégie – et implémenter – « Implementing », l'exécution de l'option choisie. Pour chaque niveau, cette taxonomie précise qui de l'humain ou de l'ordinateur (ou des deux) est censé être en charge de chacune des quatre fonctions présentées. C'est à partir du niveau 3 (« Batch Processing ») qu'apparaît pour la première fois le système en tant que responsable unique d'une fonction, en l'occurrence la fonction d'implémentation qui correspond à la mise en œuvre d'une opération décidée par l'humain (par exemple le régulateur de vitesse).

Level of automation	Monitoring	Generating	Selecting	Implementing
Manual control	Human	Human	Human	Human
Action support	Human/Computer	Human	Human	Human/Computer
Batch processing	Human/Computer	Human	Human	Computer
Shared control	Human/Computer	Human/Computer	Human	Human/Computer
Decision support	Human/Computer	Human/Computer	Human	Computer
Blended decision-making	Human/Computer	Human/Computer	Human/Computer	Computer
Rigid system	Human/Computer	Computer	Computer	Computer
Automated decision-making	Human/Computer	Human/Computer	Computer	Computer
Supervisory control	Human/Computer	Computer	Computer	Computer
Full Automation	Computer	Computer	Computer	Computer

Tableau 2 - Niveaux d'automatisation (Endsley et Kaber, 1999)

Plus récemment, des niveaux d'automatisation ont été définis pour le domaine automobile en fonction du degré d'implication de l'Humain et de celui du Système. Deux organisations majeures ont participé à la détermination de ces niveaux : la Society of Automobile Engineers (SAE) et la

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Dans une publication datant de 2016 (SAE Committee, 2014), la SAE définit les six niveaux suivants :

- « **0 – No automation** » : pas d'automatisation. L'ensemble des fonctions de conduite dans l'ensemble de l'environnement routier est assuré par le conducteur humain.
- « **1 – Driver Assistance** » : Un mode d'assistance à la conduite peut exécuter une sous-tâche spécifique de la conduite mais le conducteur humain reste l'opérateur principal en charge de la gestion de l'environnement de conduite. Toutes les autres tâches lui incombent. Exemple : Régulateur de vitesse.
- « **2 – Partial Automation** » : Un mode d'assistance à la conduite gère les aspects latéraux et longitudinaux mais le conducteur doit assurer les autres tâches et reste responsable de la gestion de l'environnement de conduite. Exemple : Régulateur de vitesse et contrôle latéral du volant mais seulement dans certaines situations comme par exemple en ligne droite sur autoroute sans gestion du dépassement.
- « **3 – Conditional Automation** » : Un mode automatisé assure tous les aspects de la tâche de conduite tout en attendant du conducteur qu'il se tienne prêt à tout besoin de transition du contrôle du véhicule. A partir de ce niveau, c'est le système qui est considéré comme moniteur de l'environnement routier. Exemple : Mode autonome sur autoroute avec gestion de l'environnement routier (trafic, etc.).
- « **4 – High Automation** » : Un mode automatisé assure tous les aspects de la tâche de conduite dans certains types d'environnements routiers, même les cas critiques si le conducteur humain ne peut pas intervenir (dans un cas critique, si l'automate ne peut pas gérer la situation routière, il se mettra en sécurité sur le bas-côté). Le système est le responsable de l'environnement routier, même lorsqu'une solution de repli est nécessaire.
- « **5 – Full Automation** » : Un mode automatisé assure l'ensemble de la tâche de conduite dans toutes situations à la place d'un conducteur humain. Le système est entièrement capable et responsable.

Comme l'illustre bien le Tableau 3, chaque niveau est théorisé en fonction de la répartition de l'autorité et de la responsabilité entre le conducteur et le système. Dans les trois premiers niveaux, le conducteur reste responsable de la tâche de conduite. À partir du niveau 3, l'automatisation a de plus en plus de responsabilité, à commencer par celle de la gestion de l'environnement routier.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i> .	System	System	System	All driving modes

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and J3016 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

Tableau 3 - Levels of driving automation for on-road vehicles, Safety Automobile Engineering International's J3016

Cette échelle apporte un éclairage important sur le fonctionnement du système et sa place vis-à-vis du conducteur humain. Ce tableau pourrait également contenir les types de transitions qui peuvent apparaître entre l'Humain et le Système. En effet, les transitions d'un niveau à l'autre peuvent se produire selon différents facteurs à mesure que la situation de conduite évolue. Il s'agit là d'une question de recherche importante car il est nécessaire de s'assurer que les transitions sont sécurisées et que le conducteur sera dans un état compatible avec celui attendu pour effectuer une reprise en main.

L'Administration nationale de la sécurité routière des Etats-Unis (NHTSA) a, pour sa part, distingué cinq niveaux différents d'automatisation des véhicules :

1. **No automation** : le conducteur contrôle totalement les commandes principales.
2. **Function-specific automation** : le conducteur peut donner une autorité limitée à un contrôle principal (par exemple, le maintien de la vitesse via le régulateur de vitesse).

3. **Combined-function automation** : automatisation d'au moins deux fonctions de contrôle principales travaillant ensemble [par ex. régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et assistance au maintien de voie].
4. **Limited self-driving automation** : le conducteur peut céder le contrôle total de toutes les fonctions critiques du véhicule dans certaines conditions, mais il est prévu qu'il soit disponible pour un contrôle occasionnel.
5. **Self-driving automation** : dans laquelle le véhicule exécute toutes les fonctions et surveille les conditions de la route pendant tout le trajet.

La NHTSA décrit la tâche de conduite comme mouvante car elle n'est pas la même entre le niveau 0 de sa classification et le niveau 4. La technologie est plus ou moins présente entre les différents niveaux et garantit une gestion de toutes des situations routières variables. La NHTSA rappelle que la technologie n'est pas encore viable pour tous les cas de figures qu'il est possible de rencontrer sur la route. Les véhicules hautement automatisés sont donc actuellement dotés de capacités comprenant pour le moment des limitations. Les fonctionnalités qu'ils possèdent sont uniquement destinées à être utilisées dans certains domaines de conception opérationnelle (par exemple sur les routes rurales). C'est pour cela qu'à ce stade, il est considéré qu'une surveillance constante du conducteur et, occasionnellement, une intervention sont nécessaires. Il reste ainsi un rôle critique au conducteur humain pour reprendre le contrôle du véhicule lors d'événements dans lesquels la technologie est limitée dans ses capacités (par exemple lorsque l'automatisation « échoue »).

3. La transition de contrôle

L'automatisation d'un système implique l'interaction entre l'homme et la machine. Dans le cadre de la conduite, elle implique même des transitions de contrôle en cours de tâche. La combinaison Humain-Machine implique une situation dynamique d'échanges et d'interactions entre l'homme et la machine. Elle est définie comme l'interférence entre deux entités dans le but de rendre plus facile les tâches communes (Hoc, 2001). Trois différents niveaux de coopération, de plus en plus coûteux et de plus en plus abstraits, sont décrits par Hoc :

- la coopération dans l'action : elle renvoie aux activités réalisées sur le court terme, à un niveau d'interférence local ;

- la coopération dans la planification : elle correspond aux activités réalisées à moyen terme qui consistent à réaliser ou faire perdurer un référentiel commun (un but, les rôles à partager, un plan etc.) ;
- la méta-coopération : elle fait référence à un niveau d'abstraction élevé pour optimiser la coopération sur le long terme. Pour ce faire, les agents construisent un modèle de soi-même et du/des partenaire(s).

Selon Hoc, une coopération entre un Humain et un Système peut être considérée comme telle s'ils réalisent chacun des objectifs, si chacun peut interagir avec l'autre et que les deux opèrent pour faciliter sa propre tâche mais également celle de l'autre. La relation coopérative des agents n'est pas nécessairement symétrique et équilibrée. Les agents interfèrent entre eux pour favoriser le fonctionnement du système, que ce soit d'un point de vue local ou collectif. Ainsi, la coopération entre l'automobiliste et le véhicule automatisé pose la question de l'équilibre de la coopération. Hoc considère que dans ce cas la coopération est asymétrique (Hoc, 2000). La transition de contrôle est une action nouvelle de la tâche de conduite. Jamais auparavant le conducteur ne s'est retrouvé dans la situation de devoir reprendre le contrôle d'un véhicule en mouvement après l'avoir complètement délégué. Lu et al. ont défini les différents cas de transition de contrôle pouvant être rencontrés entre le conducteur et l'automate sous l'angle du facteur humain (Z. Lu et al., 2016). Ils présentent la multiplicité des types de transition et leur impact, à ne pas négliger, sur la performance de « nouvelle conduite », qualificatif mettant en avant la nouveauté qu'est la transition de contrôle dans la tâche de conduite. Ils proposent une classification des transitions construites selon trois questionnements : La transition est-elle nécessaire (obligatoire), qui l'a initiée et qui a le contrôle lorsqu'elle est terminée ? Quatre grands types de transitions en ressortent. Tout d'abord, celles qui sont initiées par le conducteur et au terme desquelles le contrôle sera effectué soit par le conducteur (1) soit par l'automate (2). Ensuite, celles qui sont initiées par le système et au terme desquelles le contrôle sera effectué soit par le conducteur (3) soit par l'automate (4). La transition d'un mode hautement automatisé au contrôle manuel est celle qui intéresse fortement les équipes de recherche depuis l'apparition de l'automatisation. Du point de vue de Lu et al., le conducteur ne pourrait probablement pas maintenir son devoir de supervision de l'automate tel qu'il est demandé par les constructeurs automobiles pour certains niveaux d'automatisation (notamment les niveaux 2 et 3). Leur propos est appuyé par plusieurs études montrant que plus le niveau d'automatisation est élevé,

plus le temps de réaction du conducteur en cas de demande de reprise en main est élevé (Damböck et al., 2013; Strand, 2014).

La transition initiée par le système vers un contrôle manuel est décrite dans différents modèles. Celui de Marberger et al. (2017) recouvre les différents états du système et y alloue, pour chacun, un état général du conducteur. Sans comporter une définition claire des processus cognitifs en jeu pendant les différentes phases, ce modèle a le mérite de prendre en compte un « état » du conducteur. Cette approche est accompagnée d'une modélisation du concept de niveau de disponibilité du conducteur (« Driver Availability »).

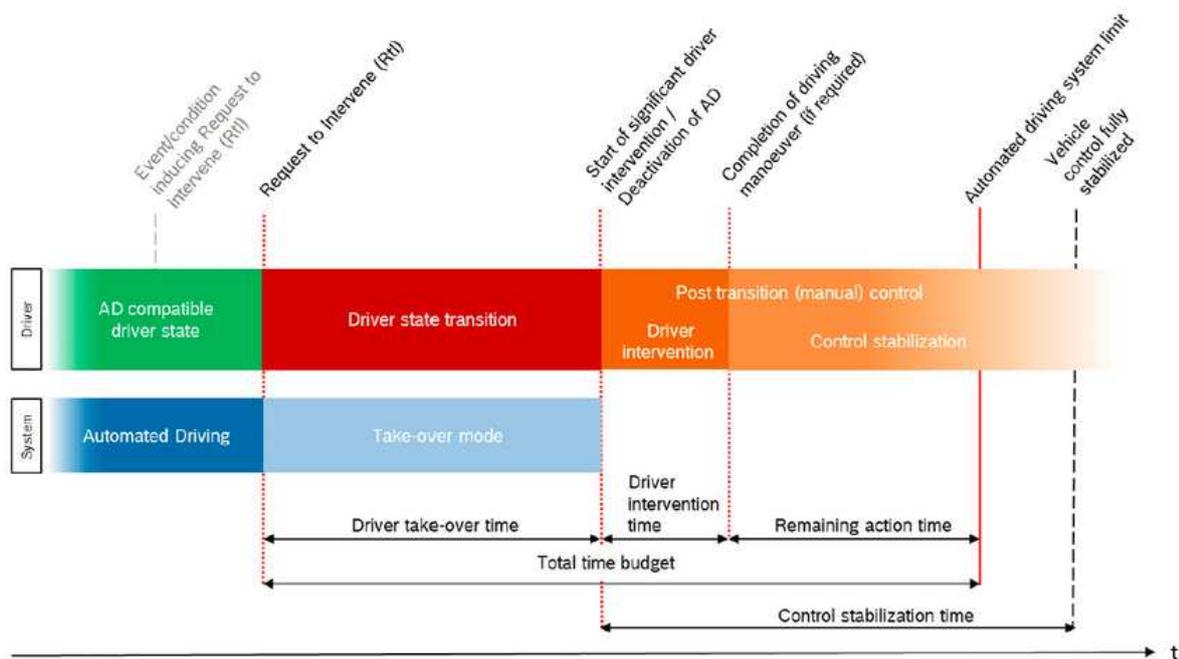


Figure 3 : Modèle de la transition de contrôle d'un système à un conducteur (Marberger et al., 2017)

Le conducteur se trouverait dans un état de disponibilité avant une reprise en main dépendant de l'état de différents sous-niveaux (perceptuels, moteurs, etc.) et cet état aurait une influence sur ses capacités de reprise du contrôle de la conduite. En effet, une grande majorité des modèles ou schéma rencontrés dans la littérature relate les états du système lors des différentes phases de la transition de contrôle en omettant de mentionner ceux du conducteur ou en les accolant parfois simplement à celui du système. Nous discuterons de ce point plus précisément dans la section II.E.2.

Concernant le déroulement classique d'une reprise de contrôle, le modèle présenté ci-dessus par la Figure 3 illustre trois grandes étapes. Lors de la première, le conducteur a délégué le contrôle au système, le mode autonome est en marche. Le début de la seconde étape est marqué par la requête de reprise en main initiée par le système, c'est une phase d'état de transition pour le conducteur et

le système. Le conducteur est en train de prendre connaissance de la requête. Le système est prêt à être désactivé. Aux niveaux 3 et 4 décrit par la SAE, le système reste responsable de la conduite pendant cette phase. Enfin, la troisième étape est initiée par la désactivation effective du mode autonome suite à l'intervention du conducteur sur une commande de contrôle (volant, pédale, bouton, etc.). Cette troisième étape correspond au temps qu'il faut au conducteur pour reprendre le contrôle manuel puis effectuer la manœuvre adéquate à la situation routière (exemple : prendre une sortie d'autoroute). Un temps de stabilisation du contrôle avec une fin variable et indépendante de l'état du mode autonome est également illustré. Ce temps suggère que la qualité d'intervention du conducteur sera variable. En intégrant un point limite du système automatisé, ce modèle s'applique au niveau 3 de la définition du SAE car dans le cas du niveau 4, le système autonome ne demandera pas de reprise en main critique. La criticité de la transition de contrôle participe de la variabilité des situations de reprise en main. Il est donc important de la définir en s'appuyant sur les travaux de recherche menés à ce sujet, souvent par l'angle du temps minimum nécessaire au conducteur.

4. La criticité de la reprise en main

La criticité est un autre paramètre participant de la variabilité des situations de reprise en main. Il n'existe pas de définition propre de la criticité de la reprise en main dans la situation d'une transition de contrôle entre un véhicule hautement automatisé et un conducteur. Elle peut dépendre de plusieurs facteurs : le trafic, le caractère plus ou moins urgent de la réponse attendue (reprendre le contrôle du véhicule en ligne droite sans trafic dense, faire un arrêt d'urgence pour éviter d'entrer en collision avec un usager vulnérable, dépasser un objet sans grand risque sur la route) et bien-sûr le temps disponible avant d'atteindre la « limite du système » (couramment appelé « system limit » dans les différents schémas illustrant les étapes d'une reprise en main). Ce dernier point est assez central dans la littérature. Deux compréhensions distinctes peuvent être faites de ce terme en fonction du niveau d'automatisation. En effet, dans le cas du niveau 3, la limite du système peut correspondre à un point fixe où une collision avec un objet est possible car le système ne saura pas le gérer s'il est maintenu en mode autonome. Au niveau 4, le système est considéré comme capable de gérer tous les types de situations routières. Quand bien même ne serait-il pas en mesure d'effectuer la manœuvre appropriée à la situation routière, il réagira afin de mettre le véhicule en sécurité. La limite du système dans ce cas est donc la mise en arrêt de la conduite. Le niveau de

criticité de la situation qui en découle n'est donc pas le même. La méta-analyse de Zhang et al., au sujet des temps de reprise en main offre un panorama très précis des travaux réalisés dans ce champ (Zhang et al., 2019a). En fonction des équipes de recherche, le temps minimal nécessaire au conducteur distrait par une activité à bord pour reprendre le contrôle d'un véhicule après une phase d'automatisation est estimé entre 7 et 10 secondes pour une reprise en main réussie (Radlmayr & Bengler, 2015; Walch et al., 2017). Ces temps estimés avec des panels de quelques dizaines/certaines de participants en conditions expérimentales (c'est à dire se sachant observés et ayant reçu des consignes) ne permet souvent pas de savoir le pourcentage de non réussite de la manœuvre en conditions réelles (pour rappel les objectifs en sûreté de fonctionnement sont de l'ordre de quelques erreurs pour quelques millions de km).

Si la question de la criticité est posée sous l'angle de la perception du conducteur, donc d'un point de vue plus subjectif, il faut alors probablement ajouter aux différents facteurs cités ci-dessus l'état du conducteur. Comme l'ont décrit Albentosa et al., une surcharge de travail ressentie lors d'un contexte de conduite dépend de différents facteurs dont l'état interne de l'individu (Albentosa et al., 2017). Dans les travaux présentés dans ce manuscrit, ce dernier point sera abordé selon les principes de niveau d'engagement et de désengagement d'une tâche.

B. Impact de l'introduction de l'automatisation dans la tâche de conduite

Parasuraman et Riley définissent l'automatisation comme l'exécution par une machine, généralement un ordinateur, d'une fonction préalablement prise en charge par un humain (Parasuraman & Riley, 1997). En 1997 également, Sarter, Woods et Billings décrivent dans leur fameux article « Automation surprises » les problèmes et erreurs qui conduisent à des incidents dans l'usage d'un système automatisé. Ils mettent en opposition deux points de vue : d'un côté, les bénéfices attendus selon les concepteurs de systèmes automatisés et de l'autre, en face de chaque bénéfice, la complexité réelle qui se cache derrière l'introduction d'une nouvelle technologie et qui peut diminuer les performances d'un utilisateur (exemple, « generic flexibility » versus « explosion of features, options and modes create new demands, types of errors and paths towards failure »). Malheureusement, l'automatisation peut s'accompagner de problèmes de performance liés au phénomène de « sortie de boucle » ou en anglais « Out-of-the-loop » (M. R. Endsley & Kaber, 1999). Ces problèmes surviennent notamment dans l'interaction avec une automatisation imparfaite

qui nécessite une supervision et donc un traitement passif de l'information. Dans ce contexte, Kaber et Endsley (1999) désignent quatre phénomènes propres au facteur humain associés à l'utilisation de l'automatisation. Le premier est la baisse de la vigilance. La vigilance (ou attention soutenue) est décrit par la capacité de maintenir une certaine vivacité d'esprit et une attention focalisée sur des éléments précis pendant des périodes prolongées (Parasuraman & Davies, 1977). Il a été conclu par plusieurs équipes de recherches que rester vigilant est source d'erreurs et stressant pour les humains (Hancock, 1989; Warm et al., 2008). C'est ce qui peut notamment conduire à de mauvaises décisions et des comportements inadaptés lors d'intervention humaine. C'est pourquoi certains chercheurs se sont demandé si le maintien d'un niveau de vigilance par des stimulations externes (grâce à des tâches secondaires) ne pouvaient pas être un moyen d'éviter la baisse des performances des opérateurs réalisant des tâches répétitives (Drory, 1985; Wiener et al., 1984). Un deuxième domaine problématique provient d'une *confiance inappropriée dans l'automatisation*. Cela s'applique aux situations où la confiance subjective est disproportionnée par rapport à la fiabilité réelle de l'automatisation. Alors que la sous-confiance peut être associée à une « désuétude de l'automatisation », une confiance excessive peut conduire à une « mauvaise utilisation de l'automatisation » (Parasuraman & Riley, 1997). Le biais d'automatisation fait référence aux systèmes qui fournissent une aide à la décision dans un environnement complexe. L'opérateur humain peut arriver à des décisions qui sont fortement biaisées par les conseils générés automatiquement et qui ne sont pas basées sur une évaluation globale de la situation. Ce deuxième point est fortement lié au troisième problème de performance OOTL mentionné ci-dessus : la perte de conscience de la situation. La conscience de la situation a été définie comme « la perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur statut dans un avenir proche » (M. R. Endsley, 1988). La conscience de la situation permet une représentation mentale de la situation actuelle et aussi l'anticipation des changements à venir. Ce sont des conditions préalables nécessaires pour de nombreuses tâches quotidiennes ou liées au travail, y compris la conduite d'un véhicule. La représentation mentale des états du système est considérée comme une composante de la conscience de la situation (voir Endsley, 1995). Dans le contexte de l'automatisation, on peut supposer que la conscience de la situation pourrait être affectée négativement. D'une part, les actions contrôlées manuellement conduisent généralement à un traitement cognitif plus profond par rapport à l'observation passive (effet de génération : Farrell & Lewandowsky, 2000 ; voir aussi Endsley &

Kiris, 1995). D'un autre côté, les problèmes de baisse de vigilance et de confiance excessive dans l'automatisation sont associés à une quantité réduite de surveillance, ce qui devrait altérer davantage la conscience de la situation. De plus, la baisse de vigilance et la confiance excessive dans un système automatisé sont deux facteurs pouvant inciter le conducteur à se tourner vers une TVB. Une équipe de chercheurs a d'ailleurs démontré qu'une interface haptique de pilote automatique particulièrement interactive et adaptative diminuait fortement l'envie de se tourner vers des TVBs chez des chauffeurs routiers (Griffiths & Gillespie, 2005). Un conducteur ayant une confiance excessive dans un automate montrera plus facilement de l'aisance à s'engager fortement dans une TVB. La dernière composante des problèmes de performance OOTL suggérée par Kaber et Endsley (1997) considère la perte progressive de la capacité de l'opérateur à effectuer la tâche automatisée manuellement. Une dégradation des compétences manuelles a été signalée, par exemple pour les pilotes d'avion et, comme contre-mesure, les pilotes sont encouragés à voler manuellement de temps en temps (Hopkin, 2017; Wiener & Nagel, 1988). Cependant, des pilotes pratiquant peu de vols manuels ont principalement montré des baisses de performances dans les tâches cognitives nécessaires au vol manuel (par exemple, le suivi de la position de l'avion ou l'exécution de sous-tâches de navigation) et non dans la compétence de contrôle manuel elle-même (Casner et al., 2016; Strauch, 2017). Bien qu'il demeure un risque, dans l'usage actuel du véhicule automatisé et son futur proche, ce dernier point sera peut-être moins prédominant que dans le domaine aéronautique dans la mesure où une pratique très régulière de la conduite restera nécessaire tant que les modes automatiques pourront être seulement utilisés dans des environnements routiers précis comme sur autoroute ou dans des bouchons.

En 1998, Stanton et Young décrivent la relation entre véhicule automatisé et performance de conduite (Stanton & Young, 1998). Ils distinguent alors deux cas de figures de l'automatisation : un premier dans lequel l'automate permettra au conducteur d'augmenter ses performances de conduite, opposé au second où l'automate, devenant maître de la tâche de conduite, délaisse le conducteur avec des tâches fondamentalement différentes de ce qu'il connaissait jusqu'alors. Ce deuxième cas est évidemment présenté comme préoccupant et comme point névralgique de la mise en œuvre de l'automatisation, pressentie à cette époque pour les prochaines décennies. A noter qu'au moment de leur travaux, ils recensent seulement trois études qui présentent des résultats au sujet de l'effet de l'automatisation sur les performances de conduite. Une conclusion majeure que les auteurs retiennent est la diminution de la charge de travail des conducteurs pendant les modes

de délégation de contrôle et l'incapacité démontrée de certains à reprendre en main un véhicule. D'autres études allaient faire le même constat quelques années plus tard en évoquant le risque de « fatigue passive » associé à la supervision d'un automate si le conducteur ne pouvait pas se tourner vers d'autres activités pour se maintenir dans un état compatible avec une nécessité de reprise en main (Jarosch et al., 2017). Ce constat les amenait en 1998 à alerter le monde scientifique sur la nécessité de comprendre et maîtriser l'impact de l'automatisation sur la performance de conduite en avançant cette phrase souvent reprise : « cognitive underload caused by automation is at least as serious an issue as overload ».

En abordant la délégation de la conduite au précédent sous-chapitre, nous avons introduit la problématique de la modification du rôle du conducteur vis-à-vis de la gestion du véhicule dans l'environnement routier et de la possible diversification de ses activités lorsque cette délégation sera effective et qu'une surveillance de la route ne sera pas requise par le code de la route (cas de figure correspondant au niveau 4 décrit par la SAE International dans leur classification des niveaux d'automatisation, cf. Figure 2). Un cas de figure théoriquement et légalement impossible mais pourtant existant peut-être ajouté : celui pendant lequel un conducteur ayant lancé un mode de délégation de conduite correspondant au niveau 3 et qui ne respecte pas son rôle de supervision en se tournant vers des TVBs pendant ces phases d'automatisation. En effet, l'automatisation entraînant des états d'ennui et de fatigue passive, le conducteur est tenté de se tourner vers des activités qui s'avéreront plus stimulantes que la tâche de supervision de l'automate (Carsten et al., 2012b; Saxby et al., 2013). Il peut alors arriver deux scénarios de reprise en main : non critique et critique. Le trajet peut se dérouler sans événement particulier jusqu'au bout de la portion de route prévue en mode autonome, le conducteur devra alors reprendre en main seulement à la fin de cette portion. La reprise en main sera considérée comme non critique. A l'inverse, un événement imprévu peut apparaître pendant que le mode autonome est lancé. Une reprise en main dans une situation d'urgence pourrait être requise. La reprise en main est alors considérée comme critique.

Ces activités qu'il sera possible de réaliser à bord du véhicule ont été désignées sous le terme de « Tâches de Vie à Bord » (TVB) ou « Non-Driving-Related Tasks » en anglais (NDRT). Elles sont de ce fait distinguées des « tâches secondaires » que l'on retrouve dans le cas de la conduite manuelle. En effet, la différence relève de la primauté de la tâche vis-à-vis de celle de la conduite. Lorsque la conduite est manuelle, elle reste prédominante et les activités réalisées en parallèles sont

donc considérées comme tâches secondaires. En revanche, lorsque la tâche de conduite n'est plus l'activité centrale car déléguée à un automate, les tâches distrayantes peuvent alors prendre la place de tâche centrale. Il n'est plus approprié dans ce cas de les appeler tâches secondaires.

Il est important de rappeler que l'engagement dans des activités à bord d'un véhicule n'est pas un phénomène propre à la conduite automatisée. Cette problématique a déjà été très largement investiguée dans le cadre de la conduite manuelle depuis une cinquantaine d'années (Regan et al., 2013a; Treat et al., 1979). Une des approches les plus retenues de ces décennies de recherche autour de la distraction au volant et de son impact sur les capacités de conduite sont les études dites « naturalistics » (en environnement réel). Dans ces études, les véhicules des participants sont équipés de capteurs et de caméras qui collectent en continu les paramètres du véhicule ainsi que le comportement du conducteur lors de l'utilisation quotidienne du véhicule. Dans l'étude de conduite dite « naturalistic » SHRP 2, les données de plus de 3 500 conducteurs ont été recueillies sur une durée de trois ans (T. A. Dingus et al., 2016). L'impact drastique de l'utilisation d'un smartphone est pointé comme le facteur d'accident le plus fort parmi les autres cités (les conversations avec les passagers, la recherche d'objets et des durées de regard prolongées sur des objets externes). L'utilisation du portable ou de tout autre appareil électronique est précisément présenté comme associé au plus haut risque de collision. Une autre étude de type « naturalistic », UDRIVE, rapporte une prévalence globalement plus faible de l'engagement des tâches secondaires bien qu'elles restent présentées comme fortement délétère pour la conduite (UDRIVE, 2017).

Depuis l'identification de la prévalence future des TVBs dans l'usage d'un véhicule hautement automatisé, différentes équipes de recherche les ont intégrées dans leur scénario d'expérimentation s'attachant à étudier la performance de reprise en main. Dans les cas qui se sont le plus attardés sur l'influence que peut avoir l'activité réalisée au moment du déclenchement d'une alerte de reprise de contrôle, de nombreuses données indiquent des différences de performance en fonction de la tâche. Même si jusqu'ici il n'est pas encore possible d'avancer qu'un consensus scientifique a abouti et permettrait une hiérarchisation de celles-ci. D'ores et déjà, de récentes études ont démontrés plusieurs phénomènes qui amènent les scientifiques à penser qu'elles seront très présentes lorsque la délégation de conduite de niveau 4 sera possible. En effet, certaines d'entre elles ont démontré que plus le sujet est à l'aise avec l'automatisation, plus il va se tourner vers des TVB facilement et rapidement (Marberger et al., 2018; Naujoks et al., 2016). En 2020, Hecht et al.

ont également rapporté que plus les sujets se projettent dans une tâche qu'ils jugent engageante, plus ils espèrent se reposer sur le système et délaissier l'environnement routier direct (regarder soi-même le trafic, la route, etc.) qu'ils jugent moins important. En parallèle, de nombreuses études confrontant la réalisation de TVB et l'absence de TVB ont démontré que le conducteur était plus performant dans la reprise de contrôle d'un véhicule lorsqu'il n'était pas engagé dans une tâche de vie à bord (Cummings & Ryan, 2014; Eriksson & Stanton, 2017; Gold et al., 2016; Merat et al., 2012a; B. K. Mok et al., 2015; Naujoks et al., 2016; Neubauer et al., 2014; Saxby et al., 2013; Weaver & DeLucia, 2020; Zeeb et al., 2015). En 2016, dans leur revue de la littérature recensant les études sur la reprise en main d'un véhicule après une phase d'automatisation, Vogelpohl et al. ont conclu que la tâche de vie à bord effectuée au moment de la requête de reprise en main envoyée par le système est un des facteurs clés de la performance de reprise en main.

L'activité réalisée avant une reprise en main est donc un des facteurs déterminant du bon déroulement de celle-ci. Plusieurs études se sont intéressées aux comportements des conducteurs pendant des phases automatisées à travers des expérimentations en situations simulées ou via des sondages en ligne afin de recenser les activités populaires pendant cette période (D. R. Large et al., 2018; Pflieger et al., 2016). Les résultats indiquent qu'outre les activités traditionnelles (parler aux passagers, écouter de la musique), la rêverie, écrire des SMS, manger et boire, naviguer sur son smartphone et téléphoner sont les TVBs qui seraient les plus pratiquées pendant les phases d'automatisation de la conduite.

C. Les Tâches de Vie à Bord

1. Questions de recherche et approches de la littérature

Le futur de la conduite automatisée ne peut donc pas être envisagé sans la notion de distraction du conducteur ou plus généralement d'activités non-relatives à la conduite. Ce constat appelle de nombreuses questions de recherches. Quelles vont être les TVBs privilégiées par les conducteurs et vont-elles varier en fonction du contexte ? Pour cette première question, plusieurs pistes de réponses ont été avancées au sein de la section précédente. Ajoutons qu'en 2020, Hetch et al. ont recensé les préférences de conducteurs en ce qui concerne les TVBs en fonction du temps d'automatisation prévu. Pour de courts trajets, l'utilisation du smartphone arrivait en tête alors que

l'envie de se reposer passait devant pour de plus longs trajets. L'utilisation de supports électroniques est une réponse dominante aujourd'hui dans les études tentant d'apporter des réponses à cette question (Clark et al., 2017a).

D'autres interrogations peuvent se poser au sujet des TVBs : est-il possible de les envisager comme un moyen de maintenir le conducteur dans un état attentionnel proche de celui requis lorsqu'il devra reprendre le volant ? Ou au contraire, sont-elles une distraction qui sera alors considérée délétère ? De plus, doivent-elles être toutes considérées au même niveau ou ont-elles des différences suffisamment significatives, notamment sur l'impact qu'elles peuvent avoir sur la performance de reprise en main du conducteur pour qu'une hiérarchisation soit légitimement établie ? Certains chercheurs s'intéressant à la fatigue générée par l'usage de la délégation de contrôle ont observé que l'engagement dans une tâche annexe avait plusieurs effets positifs sur le sentiment à bord du conducteur bien qu'aucun effet (positif ou négatif) ait été observé sur le temps de réponse lors de reprise de contrôle (Neubauer et al., 2014). A l'inverse, comme évoqué plus tôt, plusieurs résultats d'expérimentation étudiant les performances de reprise en main ont démontré de bien meilleurs temps de réaction et/ou une bien meilleure qualité de reprise en main par leur groupe contrôle qui ne réalisait pas de TVBs. Cependant, une limite dans les conclusions tirées par ces études et que ce type de résultat apparaît principalement dans le cadre d'un design expérimental uniforme : le participant réalise plusieurs reprises en main en peu de temps et ces reprises en main sont toutes critiques voire très critiques. En effet, elles sont généralement effectuées dans une situation qui mélange du trafic avec un temps très court pour effectuer la transition (entre 3 et 7 secondes) et une manœuvre d'urgence à effectuer. Il est également très courant dans ce type d'expérimentation que le participant soit fortement incité à réaliser la TVB avec application (par pression temporelle, récompense pécuniaire, etc.) pour créer un niveau d'engagement élevé.

2. Recensement et classification des TVB

Dans la littérature traitant de ce sujet, les TVBs sont exploitées et manipulées de manière très hétérogène. Différentes méthodes de classification sont également observées. Les critères de différenciation sont multiples.

*a. Les travaux de référence sur la distraction en conduite manuelle :
une première piste*

Dans un premier temps, il peut être intéressant d'explorer les classifications établies par quelques grands projets de recherche s'étant particulièrement penchés sur la distraction du conducteur engendrée par des tâches secondaires. En effet, ces études ont souvent abouti à un recensement de ces tâches secondaires (soit par enquête, soit par observations en conditions réelles ou simulées) puis à une classification de celles-ci. Souvent, cette classification est établie en fonction de leur impact sur le niveau de concentration du conducteur, sur ses performances de conduite ou sur un niveau de distraction mesuré. Cette classification mérite une attention particulière dans la mesure où un certain nombre de paramètres de ces études se rapprochent du contexte dans lequel se retrouve un conducteur de véhicule hautement automatisé. En effet, il s'agit d'activités qui se réalisent dans l'environnement intérieur d'un véhicule avec ses particularités et ses limites (le conducteur est sur son siège dont il ne peut pas bouger pendant que le véhicule est en route), comprenant des interactions avec l'environnement routier. Il sera même parfois en charge de la conduite avant et/ou après les phases d'automatisation, ce qui peut s'intercaler avec l'activité comme nous le verrons par la suite.

Dans un projet financé par la Federal Motor Carrier Safety Administration (Etats-Unis), une classification des tâches distrayantes pour le conducteur est proposée (Olson et al., 2009). Des tâches secondaires (ici on ne parle pas de tâches de vie à bord car la tâche de conduite reste la tâche principale) sont classées a priori (Tableau 4) en trois catégories en fonction d'un niveau de complexité estimé selon des aspects moteurs et visuels. Les auteurs se sont intéressés à la distraction des conducteurs (dans le cas de la conduite manuelle) à bord de véhicules commerciaux : ils proposent une taxonomie du phénomène de distraction en conduite automobile.

Leur classification s'appuie sur le concept de complexité de la tâche, considérée comme facteur déterminant du niveau de distraction que celle-ci engendre. La complexité est déterminée selon plusieurs critères définis par des travaux antérieurs : la tâche nécessite plusieurs étapes, plusieurs regards éloignés de l'environnement routier et/ou plusieurs manipulations de boutons (T. A. Dingus et al., 1989; Klauer et al., 2006). Dans leur étude, Olson et al. concluent que les tâches suivantes sont les plus risquées lors de la conduite : « Texting, interacting with dispatching devices, writing, using a calculator, looking a map, dialing a cell phone, reading a book ». Ils ajoutent que la simple

manipulation d'un objet (qui s'est avéré très souvent être électronique) est facteur de risque (poser/prendre le smartphone par exemple).

Simple	Moderate	Complex
Talk/sing/dance with no indication of passenger	Reach for object in vehicle	Use calculator
Interact with/look at other occupant(s)	Look back in sleeper berth	Read book, newspaper, paperwork, etc.
Put on/remove/adjust seat belt	Talk/listen to hand-held phone	Look at map
Put on/remove/adjust sunglasses or glasses	Talk/listen to hands-free phone	Write on pad, notebook, etc.
Put on/remove/adjust hat	Talk/listen to CB radio	Dial cell phone
Drink from a container	Use/reach for other device	Text message on cell phone
Smoking-related—cigarette in hand or mouth	Eating	Interact with/look at dispatching device
Use chewing tobacco	Smoking-related—reaching, lighting, extinguishing	
Bite nails/cuticles	Personal grooming	
Remove/adjust jewelry	Look at outside vehicle, animal, object, etc.	
Other personal hygiene		
Adjust instrument panel		

Tableau 4 : Olson 2009: Assignment of Task Categories into Three Levels of Manual/Visual Complexity

Une autre étude majeure en « Naturalistic driving » appelée « 100-car » a permis d'exploiter un nombre conséquent de données de cent conducteurs suivis pendant un an lors de leurs trajets afin de mieux comprendre les facteurs d'accidents (Neale et al., 2005). Parmi les facteurs clés se trouvent les tâches secondaires effectuées pendant la conduite. Elles sont recensées selon leur fréquence d'occurrence puis mises en relation avec les situations dangereuses rencontrées lorsqu'elles étaient en cours de réalisation. Trois niveaux de sévérité de la situation sont rapportés : incident, quasi-accident, accident. La tâche secondaire la plus fréquente et associée au plus grand nombre d'incident est le « Wireless Device » soit l'utilisation ou la manipulation d'objets électroniques. Selon les chercheurs, bien que l'utilisation du téléphone portable ait contribué beaucoup plus fréquemment aux incidents et aux quasi-accidents que toute autre tâche secondaire, l'utilisation du téléphone portable n'a cependant pas contribué à tous les accidents principaux impliquant un conflit avec plusieurs autres véhicules. Néanmoins, l'utilisation du téléphone cellulaire a contribué à d'autres types d'accidents, tels que les sorties de route, les conflits avec l'environnement extérieur (le conducteur a heurté une barricade) et les conflits de véhicules consécutifs (le véhicule en question a été heurté).

Le livre de référence de Regan et al. sur la distraction et l'inattention du conducteur apporte également un éclairage étayé sur l'influence des tâches secondaires sur les performances de conduite (Regan et al., 2013b). Deux concepts de l'inattention du conducteur sont développés : la « driver-restricted attention » (attention restreinte du conducteur) souvent due à un état biologique la favorisant tel que et la fatigue passive ou la somnolence ; et la « driver-diverted attention », synonyme de distraction du conducteur et définit comme suit « the diversion of attention away from activities critical for safe driving toward a competing activity, which may result in insufficient or no attention to activities critical for safe driving » (pp. 1776). Les auteurs avancent que dans le cas du véhicule hautement automatisé, le conducteur doit maintenir une surveillance minimum de l'environnement de conduite en se considérant comme l'opérateur de secours.

Une revue de la littérature traitant des causes subjectives de la distraction des conducteurs a mis en exergue l'appétence forte des conducteurs pour les supports numériques pendant la conduite (Parnell et al., 2017). Les auteurs rappellent que bien que le téléphone soit prédominant dans l'envie de se tourner vers un support numérique, il n'est pas le seul à être utilisé comme distraction (tablette etc.).

Difficulty	Category	Example
1 (least)	Motor movements	Move mouse towards a menu item or select a menu item
2	Routine content generation	Enter a new filename or select a transition for a video clip
3	Comprehension or store information	Read text or comments, retrieve a route segment's distance and fare information and commit it to memory
4	Recall information	Recall a route segment's distance and fare information
5	Creative content generation	Edit document text or edit video clips
6 (most)	Mathematical reasoning	Add distance or fare information

Tableau 5 - Niveau de difficulté traité par un automate (Iqbal & Bailey, 2006)

Des liens de corrélation ont été observés avec l'usage du support numérique et certaines des études exploitées avancent que l'âge aurait une influence sur la perception et le comportement du conducteur quand il interagit avec la technologie. Les auteurs de la revue restent néanmoins prudents quant à cette dernière conclusion qu'ils jugent hâtive au vu de la complexité de l'interprétation de résultats impliquant l'âge. Enfin, Iqbal et Balley se sont appuyés sur les travaux de Salvucci afin de proposer une classification d'activités. Ici aussi, c'est le critère de difficulté qui leur permet de différencier les types de tâche (Iqbal & Bailey, 2006; Salvucci et al., 2009). La difficulté est mesurée en fonction d'un certains nombres de paramètres dont la sollicitation de

fonctions cognitives de bas niveau ou de haut niveau. Ils considèrent par exemple qu'un mouvement simple est moins difficile à effectuer que de se rappeler d'une information comme l'illustre le tableau présenté ci-dessus (Tableau 5).

b. Les études sur les Tâches de Vie à Bord : approches de classification

Dans leur revue de la littérature recensant les TVBs utilisées dans les études sur la conduite automatisée, Naujoks et al. (2018) présentent la conduite automatisée comme système permettant au conducteur de se tourner vers des activités tout en attendant du conducteur qu'il soit disponible en cas d'une nécessaire reprise de contrôle. La classification des TVBs et la mesure de leur impact sur le conducteur représentent un point important du développement de la conduite automatisée. Dans leur approche, les TVBs standardisées (n-back task, SuRT, etc.) sont séparées des TVBs qu'ils nomment « de tous les jours ». Ils comptabilisent 18 TVBs de « tous les jours » (In-vehicle information systems (IVIS), Free choice of tasks, Reading, whether app, entering destination in navigation system, quiz-task, Reading out text aloud, Answering questions after hearing texts, Visual information search, Eating, Gaming, Listening to music, Speaking on the phone, Writing/dialing on the phone, Text entry, Watching a movie, Leaning out of the window and Sitting cross-legged) et 11 TVBs standardisées (Tracking task, Surrogate Reference Task (SuRT), n-Back, 20-Questions-Task, Addition, Rapid serial visual presentation task, Peripheral detection task, Rotated Figures task, Position of stimulus, Cloze-test, Oddball task). Ensuite, ils proposent une vision de la transition de contrôle d'un système à un conducteur en quatre étapes principales. Pour chacune d'entre elles, les attentes vis-à-vis du comportement du conducteur sont précisées (Figure 4) :

1. “Maintaining fitness to drive during automated driving” pour l'étape “CAD engaged” correspondant au mode où le pilote automatique est activé.
2. “Noticing the necessity to take over manual vehicle control as soon as the take-over request is issued” pour l'étape “CAD degraded” qui suit le déclenchement de l'alerte de reprise en main.
3. “Termination or interruption of the executed NDRT and interfacing with the control elements” pour l'étape “CAD disengagement” au cours de laquelle le mode autonome se désactivera.

4. “Focusing on subsequent manual driving” pour la dernière étape qui correspond à la conduite manuelle suivant la période de transition écoulée.

Ensuite, ils attribuent des « dimensions » à chacune des TVBs identifiées dans leur revue de la littérature puis proposent une classification par étape et en fonction de leur possible incidence sur les attentes vis-à-vis du conducteur à chaque étape. Par exemple, ils considèrent que les TVBs nécessitant des capacités sensorielles primaires comme la perception visuelle ou auditive sont particulièrement incompatible avec la deuxième étape correspondant au déclenchement de l’alerte qu’il sera nécessaire de traiter. Des TVBs créant une implication émotionnelle élevée sont considérées comme pouvant avoir une incidence lors de la première étape (pendant la conduite autonome) car elles peuvent créer un phénomène de tunnelisation attentionnelle.

	TOR				
	CAD engaged	CAD degraded	CAD disengagement	Manual Drive	CAD engagement
	Non driving related task			manual driving	non-driving related task
Requirements on driver	<ul style="list-style-type: none"> Wakefulness Fitness to drive Mode awareness 	<ul style="list-style-type: none"> Noticing and understanding TOR : need for task switching Establishing take-over readiness 	<ul style="list-style-type: none"> Interruption of NDRT Taking over manual control 	<ul style="list-style-type: none"> Driving manually 	<ul style="list-style-type: none"> Re-uptake of NDRT
Example	<ul style="list-style-type: none"> Driver reads/writes a text message and is aware of the system's limitations 	<ul style="list-style-type: none"> Noticing auditory warning and interpreting TOR 	<ul style="list-style-type: none"> Putting smartphone / tablet aside Taking hands on steering wheel 	<ul style="list-style-type: none"> Changing lanes because of obstacle 	<ul style="list-style-type: none"> Taking hands off the steering wheel Taking device into hands
How will the NDRT influence take-over performance?	<ul style="list-style-type: none"> Under-/ Overload Involvement (emotional/ motivational) Need for sustained attention to task 	<ul style="list-style-type: none"> (Primary) modality of NDRT (input/output) Encoding of information (visual/spatial) Mental effort Locality Possibility of on-road glances 	<ul style="list-style-type: none"> Effort of interruption or termination Incentive to continue task Type of interaction (self-paced vs machine-paced) Duration of operating steps 	<ul style="list-style-type: none"> Continuation of NDRT 	<ul style="list-style-type: none"> Carry-over effects from manual driving

Figure 4 - Déroulement d'une reprise en main selon Naujoks et al. (2018)

Les TVBs sont donc ici classées par Naujoks et al. (2018) selon plusieurs critères : les dimensions cognitives qu’elles sollicitent et les états cognitifs néfastes qu’elles peuvent engendrer ainsi que le moment où leur incidence néfaste risque d’être la plus forte dans le processus de transition de contrôle. Leur approche prend son origine des différents états du système et a le mérite de questionner l’impact de l’état du conducteur pour chacun de ces états dans le processus de transition. En revanche, la classification des TVBs sélectionnées selon leur impact sur la cognition peut parfois manquer de clarté. Cela s’explique principalement par le fait que cette classification mêle des aspects très différents fondés sur diverses théories (comme le mental workload causé par

une TVB et la localisation de la TVB dans la voiture ou encore l'effort d'interruption associé à une tâche).

Pour des activités écologiques, il n'est pas évident de proposer une classification d'un point de vue cognitif au vu de la variabilité des tâches et même de la variabilité pour chaque tâche. Par exemple, des chercheurs différencient des tâches en fonction du support principal donc toutes les tâches réalisées sur écran numérique sont regroupées (Clark et al., 2017a) ce qui peut être fortement discutable sur le plan cognitif au vu de la variabilité des activités qu'il est possible de réaliser sur un support numérique. D'autres travaux appliquent une classification en utilisant plusieurs dimensions croisées venant à la fois d'organismes officiels et de théories (Spiessl & Hussmann, 2011). Ces derniers et bien d'autres équipes de recherche ayant menés de pareilles expérimentations utilisent notamment la « Malleable Resources Theory », décrite plus avant dans la section II.E.2 correspondant à l'article 1 de ces travaux (Wickens, 2002). Ce modèle est discuté dans la section II.D.2.

Du travail de recherche disponible dans la littérature scientifique traitant du sujet de la transition de contrôle, le concept d'engagement et de désengagement d'une tâche nous est apparu déterminant pour la réussite de cette action nouvelle de la conduite d'un véhicule hautement automatisé. Son importance se révèle selon deux idées principales :

- Son rôle fort dans plusieurs des problèmes majeurs associés à la conduite automatisée telle que la distraction ou la perte de la conscience de la situation comme évoqué plus tôt.
- Sa prédominance dans le cas particulier de la conduite automatisée associée à la possibilité de réaliser une TVB pendant les phases de délégation de la conduite. Il sera particulièrement question d'engagement dans une TVB, puis de désengagement de cette tâche pour initier un réengagement dans la tâche de conduite.

La section II.E contient un travail de review effectué dans le cadre de cette thèse. L'objectif de cette exploration de la littérature est d'apporter des pistes théoriques et méthodologiques d'étude des mécanismes d'engagement et de désengagement des TVBs. Elle se distingue des travaux de recensement précédemment présentés par son approche centrée sur la cognition humaine en opposition à l'approche dominante actuelle très techno-centrée de la reprise en main. Ainsi, après avoir présenté l'état de la littérature recensant les études sur la pratique de TVBs en phase d'automatisation et de son impact sur la performance de reprise de contrôle, les concepts théoriques

ayant permis la classification des différentes TVBs et la mesure de leur effet sur le conducteur sont présentés dans la section suivante avant de proposer notre propre approche.

D. Théories de l'engagement et Concepts associés

Les précédentes sections ont permis de décrire le cadre et le contexte d'étude des travaux présentés dans cette thèse, c'est-à-dire, les enjeux de la combinaison de la conduite hautement automatisée et de tâches de vie à bord. Les mécanismes d'engagement dans la tâche ont été identifiés comme déterminants de la réussite de cette interaction entre conducteur et véhicule hautement automatisé lors de transitions de contrôle. Les mécanismes d'engagement dans la tâche se déclinent précisément en trois phénomènes dans le cas d'une reprise de contrôle à effectuer lorsqu'une TVB était en cours : l'engagement dans la TVB en cours pendant la phase de délégation de conduite puis le désengagement de cette TVB lorsque la transition est initiée et enfin le réengagement dans la tâche de conduite. Nous avons vu comment les études mesurent l'effet de l'engagement dans une tâche grâce à la section II.E qui contient la revue de la littérature à ce sujet ayant fait l'objet d'une publication (Jaussein et al., 2021). Ce que nous pouvons particulièrement retenir de ce travail de revue de la littérature est la diversité des approches de mesures de l'engagement dans la tâche. Ce constat peut être expliqué par la multiplicité des théories qui évoquent l'engagement dans la tâche sans en faire un concept majeur bien souvent. En effet, les définitions de l'engagement disponibles dans la littérature varient. Il est parfois abordé en tant qu'objet d'étude central mais il est surtout mentionné dans des approches diverses traitant des ressources attentionnelles (M. S. Young & Stanton, 2002b), de la charge de travail (Berka et al., 2007), du phénomène de tâches multiples (Salvucci & Taatgen, 2008a; Wickens, 2002), du stress (Matthews et al., 2010a) et d'autres encore. Ces approches se concentrent pour la plupart sur le résultat de l'engagement. Néanmoins, il est possible de trouver des modèles ou approches de l'engagement dans la tâche traitant ce dernier comme concept central contrairement aux approches précédemment citées. Nous pensons notamment au modèle de O'Brien et Toms (2008) qui théorise l'engagement de l'utilisateur dans le cadre de l'utilisation de technologies. D'autres recherches mettent davantage en avant l'importance de facteurs liés à des mécanismes émotionnels pour décrire le phénomène d'engagement (Nass et Brave, 2005). L'intérêt pour une tâche particulière est créé par une réponse affective positive à l'objet de la tâche et une motivation intrinsèque pour effectuer celle-ci. Dans le domaine de l'acquisition des connaissances et du développement des compétences, le niveau d'intérêt est

considéré comme un déterminant central de la façon dont nous sélectionnons et persistons à traiter certains types d'informations à l'exclusion d'autres (par exemple, Hidi, 1990). Dans le contexte de la conduite automobile, bon nombre de ces facteurs influencent probablement la volonté des utilisateurs d'effectuer des tâches potentiellement distrayantes au volant (p. ex., Lerner et Boyd, 2005).

L'attention et l'allocation de ses ressources, la charge de travail et le niveau de demande, l'influence de la technologie, le stress sont les domaines traitant de l'engagement dans la tâche en lui conférant différents statuts (facteurs, conséquences, etc.). Dans cette nouvelle section, nous allons justement parcourir les approches de l'engagement recensées dans la littérature ainsi que les différents concepts clés utilisés pour son exploration.

1. Approches de l'engagement

Selon Lee, pour comprendre les mécanismes d'engagement et de désengagement à l'œuvre dans le cadre de la distraction du conducteur utilisant un mode de délégation de la conduite, deux approches doivent être combinées : celle s'intéressant aux variations des ressources attentionnelles et celles explorant les dynamiques attentionnelles (Lee, 2014). Ces deux points avancés peuvent être mis en relation avec deux parties importantes de la transition de contrôle : la tâche (réalisée avant la reprise en main) comprenant ce qu'elle demande en termes d'investissement cognitif (variations des ressources) et le mode de fonctionnement pour effectuer un passage d'une tâche à une autre (les dynamiques), en l'occurrence de la TVB à la tâche de conduite. Ainsi selon Lee, pour comprendre les mécanismes d'engagement et de désengagement, il faut donc mesurer non seulement le niveau de ressources allouées à une tâche pour prendre en compte le niveau d'engagement qu'elle suscite mais également les moyens mis en œuvre pour passer d'une tâche à une autre pour prendre en compte les dynamiques de désengagement et de réengagement en œuvre.

Le terme d'engagement est utilisé sous plusieurs sens dans la littérature. Il est important de distinguer les concepts émanant de ce même terme afin de définir les limites sémantiques de notre propre utilisation.

Certains le qualifie d'allocation manifeste de l'attention (Tops & Boksem, 2010), tandis que d'autres décrivent l'engagement par sa propension à attirer et retenir notre attention (Pintrich et al., 1993).

Selon d'autres théories, l'engagement serait un état dans lequel un individu se trouverait, dû à son implication dans une activité à tel point que toutes les influences concurrentes seraient bloquées (par exemple, Csikszentmihalyi & Csikzentmihaly, 1990). Enfin, certains l'évoquent même en parlant d'engagement de l'attention (Shagass et al., 1976). En résumé, pour certains chercheurs, l'engagement est la résultante de l'allocation des ressources attentionnelles alors que pour d'autres il est la cause de cette allocation (et de son niveau).

Dans la recherche en éducation, le terme « engagement » a été utilisé pour désigner l'investissement cognitif, la participation active et l'engagement émotionnel des élèves dans des tâches d'apprentissage spécifiques. Cet engagement est évalué sur la base de critères cognitifs (à quel point les élèves s'occupent et dépensent des efforts mentaux dans une tâche), de critères comportementaux (à quel point par différents comportements les élèves expriment leur intérêt pour la tâche) et des critères affectifs (basés sur des critères émotionnels).

Pour étudier et améliorer l'expérience d'utilisateurs de technologies numériques, O'Brien et Toms ont proposé un modèle d'engagement qui se concentre sur les propriétés d'une tâche qui obligerait plus ou moins d'engagement. Il comprend notamment le degré de difficulté des tâches, leur caractère interactif, mais aussi esthétique, si elles sont continues, variées ou inédites (O'Brien & Toms, 2008).

Dans leur approche de l'engagement et du désengagement, Carver et Scheier considèrent ces deux mécanismes comme indispensables dans toutes activités (Carver & Scheier, 2005). Ils considèrent qu'une capacité supplémentaire est indispensable à la bonne utilisation de ces deux mécanismes : la capacité à déterminer quand il faut continuer de mettre ses efforts dans une tâche et quand il faut s'en désengager, au profit de quelque chose d'autre devenu plus important.

Le niveau d'engagement peut être influencé par un certain nombre de facteurs, quelle que soit la difficulté de la tâche. En tant que tel, l'engagement peut être un facteur important pour déterminer la politique d'allocation des ressources du conducteur au-delà de ce qui pourrait être requis pour une exécution réussie de la tâche. Les conducteurs peuvent consacrer plus de ressources attentionnelles à des activités considérées comme engageantes plutôt qu'à celles qui le sont moins, ce qui pourrait avoir des implications plus néfastes pour la performance de conduite dans le cas d'une transition de contrôle. De nombreuses études sur la multiplication des tâches au volant en conduite manuelle ont utilisé des tâches qui varient en termes de difficulté en utilisant des tâches

secondaires, mais peu ont prêté attention au niveau d'engagement ou d'intérêt de l'individu pour ces différentes tâches. Par exemple, Dula et al. ont constaté que les conducteurs impliqués dans une conversation émotionnelle adoptaient des comportements de conduite plus dangereux que les conducteurs tenant une conversation banale ou que ceux du groupe contrôle – donc sans conversation (Dula et al., 2011). Bien que ces auteurs n'aient pas contrôlé la difficulté de la tâche (ce n'était pas un objectif de leur étude), cette étude montre qu'il existerait des différences entre les tâches, et que cela peut aboutir à différents résultats de performance. Dans des travaux antérieurs, Horrey et al. ont examiné deux tâches qui différaient selon des critères liés à l'engagement. Les résultats suggèrent qu'une tâche considérée comme plus engageante (des devinettes en vingt items proposées sous la forme de jeu) entraînait de moins bons résultats de conduite qu'une tâche de calcul mental moins engageante, bien que les conducteurs aient évalué leurs performances de conduite comme supérieures à la tâche engageante (Horrey et al., 2009). Ces résultats suggèrent que l'engagement mis dans les tâches secondaires brouille le jugement des conducteurs sur leur performance de conduite.

En recoupant les diverses approches relevant de domaines parfois très éloignés comme l'éducation et l'expérience utilisateur dans le numérique, certains concepts utilisés par différentes équipes de recherche émergent. En effet, il est souvent question de niveau de mobilisation des ressources attentionnelles, de niveau charge de travail ou encore d'effort interruption. Explorons les grandes approches qui exploitent ou du moins évoquent l'engagement.

2. Attention et Ressources

Pour explorer le concept d'engagement, il paraît nécessaire tout d'abord de revenir brièvement sur les principaux modèles de l'attention. Les théories qui ont été développées concernant l'attention pourraient être regroupées en deux grandes catégories :

- Celles traitant de l'attention selon un principe de filtre
- Celles considérant l'attention selon un principe de ressources ou de capacité

Les différentes approches regroupées derrière ces deux grandes catégories ne sont pas totalement opposées, elles ont notamment un point commun : elles considèrent toutes l'existence d'une limitation de la capacité de perception de l'information, parfois stricte, parfois plus flexible.

Une des premières théories retenues par le corpus scientifique a été développée en 1952 par Welford qui suggère que l'attention est un « canal unique » qui ne pouvait s'occuper que d'un seul stimulus à la fois (Welford, 1952). Mais la théorie la plus fameuse du « canal unique » est celle du « goulot d'étranglement » ou « Bottleneck Theory » (Broadbent, 1958). Selon cette théorie, le traitement de l'information est effectué en série et à un point spécifique le long des étapes de traitement, le système dispose d'un « goulot d'étranglement » (filtre) qui trie les informations non sélectionnées pour un traitement ultérieur.

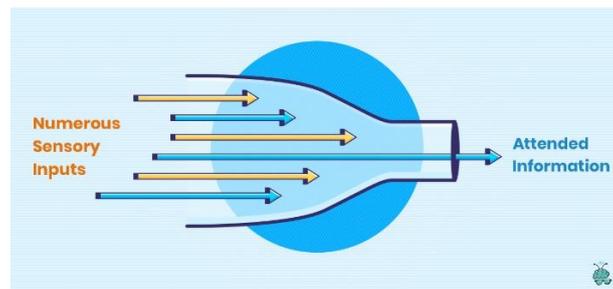


Figure 5 : Illustration de la "Bottleneck Theory" de Broadbent

La forme du modèle est similaire à la lettre « Y », symbolisant deux sources d'informations/entrées entrantes, les deux branches du Y et une source finale qui sera reconnue, à travers un filtre. L'information serait alors traitée en fonction de pré-sélections que nous opérons et des attentes que nous avons vis-à-vis des informations proposées par notre environnement.

C'est donc une approche du traitement de l'information qui l'appréhende comme un processus de filtrage intervenant après le traitement sensoriel et avant le traitement perceptif, et permettant de bloquer l'information inattendue afin de n'autoriser que le passage des informations attendues. Ce processus a pour objectif d'éviter de surcharger le système global. Ainsi, si toutes les informations sont encodées et analysées en parallèle au niveau de leurs caractéristiques physiques (traitement sensoriel), ces informations ne peuvent être réellement « perçues » que si elles sont triées et sélectionnées par le filtre attentionnel. Plusieurs mises à jour de ce modèle ont ensuite été proposées, intégrant des précisions telles que l'existence de niveaux de filtrage permettant un traitement plus fin des informations afin de sélectionner et prioriser les bonnes informations (Treisman, 1969). Dans cette approche du mécanisme de filtre, la capacité de traitement de l'information est considérée comme limitée - une seule ressource indifférenciée - dans le cas extrême, un seul canal d'information, et une opération stimulus-réponse à la fois.

La seconde approche dominante de l'attention est celle de la considération d'un niveau de capacité ou de ressources disponibles et allouées de manière adaptée à la tâche à effectuer. Le système cognitif humain dispose de « ressources mentales » n'existant qu'en quantité limitée et déterminant la qualité, l'efficacité ou la profondeur du traitement cognitif de l'information (Kahneman, 1973). L'attention est perçue comme un réservoir de capacités (ressources attentionnelles) susceptibles d'être investies en plus ou moins grande quantité dans les diverses opérations cognitives. Plus les ressources sont investies dans une tâche, meilleur est le traitement correspondant. Ainsi, la focalisation de l'attention sur les informations pertinentes pour effectuer une tâche donnée permettrait de concentrer ces ressources uniquement sur leur traitement, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter la qualité de la performance de réalisation à la tâche. La relation avec la performance dans la tâche commence à apparaître. Elle est reprise ensuite par diverses approches parmi lesquelles deux objets d'intérêt particuliers apparaissent : les enjeux du « multitasking » (ou réaliser plusieurs tâches) et la performance humaine.

Un concept théorique largement utilisé pour la prédiction des performances dans des situations de tâches multiples est la théorie des ressources multiples de Wickens (Wickens, 1984, 2008).

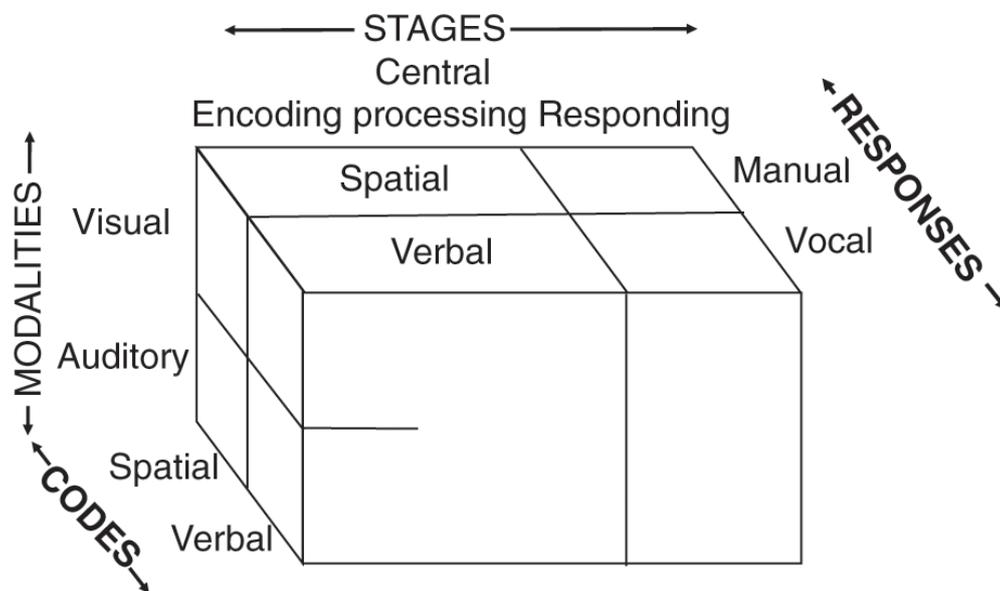


Figure 6 : Illustration de la théorie des ressources multiples (MRT) de Wickens (1984)

Ce modèle est une adaptation de Kahneman qui intègre l'idée que les processus mentaux sont séparés en termes de ressources. On suppose que les processus de perception, de traitement de l'information et ceux permettant une réaction accèdent chacun à des ressources distinctes et propres. Ces ressources sont également subdivisées en termes de modalité (informations visuelles et

auditives) et de codage (verbal et spatial). Par conséquent, il est considéré dans cette théorie que « les interférences seront plus grandes lorsque deux tâches exigent le traitement d'une seule ressource plutôt que de répartir leurs demandes entre les ressources ».

Appliqué à la conduite, ce modèle mène à plusieurs constats. La conduite peut être considérée comme une tâche visuelle et manuelle. Une TVB nécessitant également des ressources visuelles et manuelles (par exemple écrire un texto) entraînera des baisses de performances plus importantes en comparaison d'une tâche auditive-vocale (par exemple, tenir une conversation avec des passagers). De plus, la théorie des ressources multiples prend également en compte le rôle de la charge de travail cognitive. Par conséquent, lorsqu'une ou plusieurs des tâches simultanées sont très exigeantes, des baisses de performances peuvent se produire même s'il n'y a pas de chevauchement dans la structure même des ressources. L'application de cette théorie dans le domaine automobile et a fortiori à l'utilisation d'un véhicule hautement automatisé en considérant la réalisation de TVBs a fait l'objet de nombreuses recherches (Roche et al., 2019a; Spiessl & Hussmann, 2011; Wandtner, Schömig, et al., 2018c). Avec l'introduction croissante de technologies dans les métiers opérationnels mais aussi dans les activités de vie quotidiennes, le modèle de Wickens a peu à peu été utilisé pour étudier la performance dans le cadre de tâches multiples successives mêlant des interactions entre humain et automate (Ho et al., 2004; S. A. Lu et al., 2013).

Dans leur théorie des ressources attentionnelles malléables (Malleable Attentional Resource Theory, MART) s'appuyant sur la MRT de Wickens, Young et Stanton avancent l'idée suivante : la capacité des ressources attentionnelles s'adapte aux exigences de la tâche (M. S. Young & Stanton, 2002b). C'est-à-dire qu'une tâche peu coûteuse va générer un niveau de mobilisation des ressources attentionnelles peu élevé. A l'inverse, une tâche comportant un fort niveau de demande générera une mobilisation importante des ressources attentionnelles nécessaires à sa réalisation. Il existerait donc un réservoir de mise à disposition de ressources attentionnelles qui serait variable afin de s'adapter au besoin spécifique de chaque situation. Cette approche de la mobilisation des ressources attentionnelles malléables permettrait d'expliquer des phénomènes d'échec observés lors du passage d'une tâche à une autre lorsqu'il existe un écart important de niveau de demande entre elles. En effet, un faible niveau de mobilisation de ressources attentionnelles activé pour une tâche peu coûteuse peut s'avérer insuffisant dans le cas de l'apparition d'une seconde tâche beaucoup plus coûteuse à effectuer à la suite (plutôt dans des cas de transition rapide). Le niveau

de ressources disponible est incompatible à la seconde tâche et peut aboutir à une réponse inappropriée aux besoins de la situation.

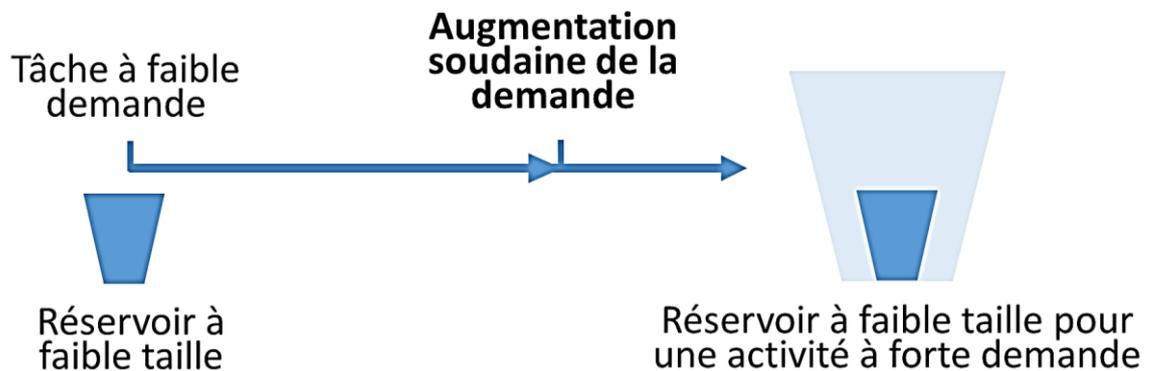


Figure 7 : Proposition d'une visualisation de la théorie des ressources malléables de Young et Stanton (2002)

Dans le cadre du VHA, Young et Stanton avancent que l'automatisation peut conduire à une réduction temporaire des ressources attentionnelles accessibles. Ainsi, face à un problème en phase d'automatisation, une capacité maximale limitée de l'opérateur due à une TVB en cours comportant un faible niveau de demande ne permettrait pas de gérer correctement la situation, ce qui entraînerait une dégradation des performances. Le concept de « Driver Availability » s'inspire du principe de mobilisation des ressources attentionnelles pour étudier l'influence de l'état du conducteur sur sa performance de reprise en main (Marberger et al., 2018). Ce modèle des étapes de la reprise en main prend en compte un état de disponibilité du conducteur qui varierait selon différents facteurs contextuels pouvant avoir une influence sur le comportement du conducteur.

3. La Charge de travail ou Workload

Pour ne pas multiplier les dimensions de ce concept comportant déjà de nombreuses définitions et termes pour le décrire, nous utiliserons exceptionnellement les termes anglophones pour développer cette partie. En effet, dans la littérature, plusieurs termes gravitent autour de la charge de travail comme le remarque Hart : « *The many definitions that exist in the psychological literature are a testament to the complexity of the construct* » (Hart, 2006). Ce qui doit être retenu est que la charge de travail (CDT) représente la somme de différentes charges ressenties, principalement au sujet d'aspects physiques et d'aspects mentaux. Le concept de charge de travail a une longue histoire et plusieurs applications fameuses dans les industries aéronautique (Hart & Wickens, 1990) et automobile (De Waard & Brookhuis, 1996). Pour commencer, voici quelques définitions de la

charge de travail ou de la charge mentale de travail regroupées par Cain dans son travail de revue de la littérature (Cain, 2007, p. 20) :

- “Mental workload refers to the portion of operator information processing capacity or resources that is actually required to meet system demands.” (Eggemeier, Wilson et al. 1991, p. 207)
- “... mental workload may be viewed as the difference between the capacities of the information processing system that are required for task performance to satisfy performance expectations and the capacity available at any given time.” (Gopher and Donchin 1986, p. 41-3)
- “... the mental effort that the human operator devotes to control or supervision relative to his capacity to expend mental effort ... workload is never greater than unity.” (Curry, Jex et al. 1979)
- “... the cost of performing a task in terms of a reduction in the capacity to perform additional tasks that use the same processing resource.” (Kramer, Sirevaag et al. 1987)
- “... the relative capacity to respond, the emphasis is on predicting what the operator will be able to accomplish in the future.” (Lysaght, Hill et al. 1989, p. 27)

Deux définitions peuvent y être ajoutées :

- “The workload construct was conceived to explain the inability of human operators to cope with the requirements of a task, and that workload measures are an attempt to characterize performance of a task relative to the operator’s capability” (Gopher & Sanders, 1984) ;
- “Workload represents the cost of accomplishing mission requirements for the human operator” (Hart & Wickens, 1990)

Ces différentes définitions regroupent deux idées principales : la charge de travail est une question de capacité ou de niveau de ressources pour répondre à une tâche donnée et il est intrinsèquement limité. Elles évoquent également une interaction entre deux entités principales : la capacité/les ressources de l’individu et la demande de la tâche. Certains considèrent que la CDT représente un coût quand d’autres l’appréhendent plus comme la concrétisation d’un gap qui définirait un écart entre ces deux entités susnommées.

Il est courant de remarquer dans la littérature que la frontière entre l'usage du terme CDT et de celui de Mental Workload n'est parfois pas bien définie. Le meilleur exemple est celui de la revue de littérature de Cain contenant le terme de CDT dans son titre et traitant indistinctement les concepts de CDT et de CDT (Cain, 2007). En réalité, le CDT est évoqué dans les cas de figure où le domaine d'étude dont il est question concerne principalement des tâches cognitives, et donc demandant peu ou pas d'investissement physique. Par exemple, dans le domaine automobile, l'utilisation du terme CDT est très courant dans la mesure où les chercheurs ont considéré que la tâche de conduite était avant tout une tâche cognitive bien que l'aspect moteur soit essentiel dans sa réalisation. Elle peut d'ailleurs être qualifiée de tâche sensori-motrice.

De nombreux travaux avancent donc l'hypothèse qu'il est possible de mesurer un niveau de charge de travail généré par une tâche. Il s'agit de différentes techniques de mesure, à la fois unidimensionnelles et multidimensionnelles ayant été développées pour l'évaluation du CDT (Cain, 2007 ; Young et al., 2015). De même, divers critères de validation de ces techniques ont été proposés au cours des dernières décennies, indiquant l'importance de la recherche sur la CDT (Rubio et al., 2004). De manière générale, la principale raison d'évaluer la CDT, en ergonomie, est de mesurer le coût mental de l'exécution d'une tâche dans le but de prédire les performances de l'opérateur et du système (Cain, 2007). Dans de multiples domaines, l'objectif est donc similaire : l'objectif derrière l'exploration du CDT (ou le CDT) est de mesurer le coût de la réalisation d'une tâche dans le but de prédire la performance de la personne qui la réalise et donc souvent de mesurer l'adéquation de la demande avec la capacité de réponse de cette personne.

Dans le cas de la conduite automobile, c'est principalement la CDT qui a été et est étudiée, comme évoqué plus haut, dans la mesure où la tâche de conduite requiert principalement de la dépense mentale même si la part physique n'est pas nulle. Pour la conduite manuelle, Paxion et al. identifient deux facteurs du CDT et de la performance : la complexité de la situation et le niveau d'expérience de conduite (Paxion et al., 2014). Leur état de l'art des questionnaires utilisés pour la mesure subjective du CDT évoque cinq outils principaux parmi lesquels trois utilisent des échelles multidimensionnelles dans le contexte de la conduite :

- Le SWAT : Subjective Workload Assessment Technique développé par Reid et Nygren selon l'idée que le CDT est d'une nature multidimensionnelle qu'il est possible

d'appréhender par la prise en compte de trois facteurs : le temps, l'effort et le stress (Reid & Nygren, 1988).

- Le WP : Workload Profil construit par Tsangand et Velazquez, qui permet à un participant d'évaluer une tâche selon différentes dimensions distinctes du workkload (Tsang & Velasquez, 1996).
- Le Nasa-Tlx : NASA Task Load IndeX, comportant six dimensions : l'exigence mentale, l'exigence physique, la pression temporelle de la tâche ainsi que la performance personnelle et l'effort (Hart & Staveland, 1988). Ce questionnaire a été adapté à l'étude du CDT en situation de double tâche en conduite automobile par Pauzié sous le nom de DALI (Pauzié, 2008).

Historiquement, l'évaluation du CDT a été développée pour mesurer le coût que représentait une tâche à effectuer pour un opérateur et particulièrement pour déterminer si certaines tâches généraient des situations de surcharge. En revanche, comme le soulignent Young et Stanton en 2002, dans le cadre de la conduite automatisée, c'est davantage l'apparition d'un état de sous-charge qui peut être attendu (M. S. Young & Stanton, 2002b). Notamment lorsqu'il est question de supervision d'un système de pilotage. Ils considèrent l'état de sous-charge comme au moins aussi délétère pour la performance que l'état de surcharge lorsque le conducteur devra assurer à son tour la tâche de conduite. Un état trop accentué du CDT, que ce soit trop faible ou trop élevé, est donc synonyme de risque de mauvaise performance.

Dans les cas évoqués jusqu'ici, il est question de l'effet d'un niveau de CDT généré par une tâche X sur la performance de réalisation de cette même tâche (X). La tâche X étant la conduite dans notre domaine d'intérêt. Dans le cadre précis de ces travaux de thèse, le contexte étudié engendre une approche différente : c'est davantage l'effet du niveau de CDT généré par une tâche Y sur la performance de réalisation d'une tâche X (dans la suite immédiate de la tâche Y) qui sera le cœur de nos travaux. Il s'agit d'une situation séquentielle. La tâche X étant toujours la conduite et la tâche Y une quelconque TVB. Dans ce cas, la CDT peut être utilisé comme un outil de mesure du niveau d'engagement mis dans une tâche par un participant. En effet, plusieurs études postulent d'un lien entre engagement dans la tâche et niveau de CDT (i.e., Borojeni et al., 2018; Ko & Ji, 2018; Tanshi & Söffker, 2019; Wandtner, Schömig, et al., 2018a). Ces études s'appuient sur principalement sur l'idée que le CDT serait directement lié au niveau de difficulté de la tâche. Le

niveau de difficulté représente une des dimensions qui peut influencer le niveau d'engagement dans la tâche. Dans nos travaux, nous considérons donc le CDT comme outil permettant d'évaluer, avec d'autres, un niveau d'engagement dans la tâche. Effectuer une tâche difficile demande un certain niveau d'engagement des ressources à disposition. En revanche, d'autres conditions peuvent générer un niveau d'engagement élevé. Par exemple, l'intérêt porté à la tâche ou encore les caractéristiques propres de la tâche (est-elle facilement interruptible ?). Ces autres facteurs sont l'objet des sections suivantes.

4. L'effort d'interruption ou Interruptibilité

L'effort d'interruption ou interruptibilité survient lorsqu'un stimulus extérieur à la tâche en cours vient l'interrompre en rompant la continuité qui s'était installée dans la réalisation de la tâche. Quand le stimulus intervient, la personne doit arrêter la tâche en cours pour traiter l'information nouvelle et y répondre de manière adaptée. Ce processus demande un certain effort à fournir que l'on nomme effort d'interruption. Dans la littérature, plusieurs mesures réalisées pour étudier ce phénomène de transition sont utilisées :

- La mesure de l'effort mis dans l'interruption d'une tâche pour passer à une autre tâche
- L'évaluation d'un niveau d'interruptibilité d'une tâche (est-elle facilement interruptible ou non ?)
- Le niveau de dérangement généré par l'interruption d'une tâche
- La stratégie d'interruption opérée par un participant lorsqu'il doit interrompre une tâche

Ces concepts sont étudiés dans des domaines très divers. Des études sur l'expérience d'utilisation d'un support numérique (type smartphone ou application mobile) se sont particulièrement intéressées à l'influence de l'interruption sur le ressenti de l'utilisateur (Exler et al., 2016; Kansal et al., 2016; Kern & Schiele, 2006). Des chercheurs ont également étudié l'effet de l'interruption sur la performance humaine dans des situations de travail (B. C. Lee & Duffy, 2015). Une interruption durant environ 2,8 secondes double les chances de l'apparition d'une erreur pour un opérateur réalisant une tâche séquentielle (Altmann et al., 2014). Ces chercheurs ont également démontré que des interruptions ont entraîné des comportements inappropriés ou inutiles, comme le fait de réaliser deux fois la même sous-tâche ou complètement sauter une étape de la tâche suivante. Le psychologue Erik Altmann donne une perspective sur les conséquences potentielles de telles

erreurs : « Si j'ajoute du sucre deux fois à quelque chose que je prépare, cela n'a pas vraiment d'importance. Mais si je donne à un diabétique une dose supplémentaire d'insuline, cela compte ».

En partant de sa théorie de la Threaded Cognition pour décrire les processus en jeu lors de situations de multi-tâches, Salvucci *et al.* décrivent une série d'étapes lorsqu'un participant doit réaliser plusieurs tâches à la suite (Salvucci *et al.*, 2009; Salvucci & Taatgen, 2008b). Un délai d'interruption (« interruption lag ») est notamment mis en avant au moment d'une transition entre deux tâches (Figure 8). Pendant ce délai, une trace de la première tâche est toujours présente dans les représentations mentales du participant et un processus de « nettoyage » de ces traces va être enclenché (si nécessaire). Dans cette description, la première tâche peut perdurer sous forme de représentations plus ou moins invasives pendant la seconde tâche et nécessiter l'intervention du processus de nettoyage (« memory rehearsal »). Selon ces chercheurs, ce processus est déterminant lors d'une interruption.

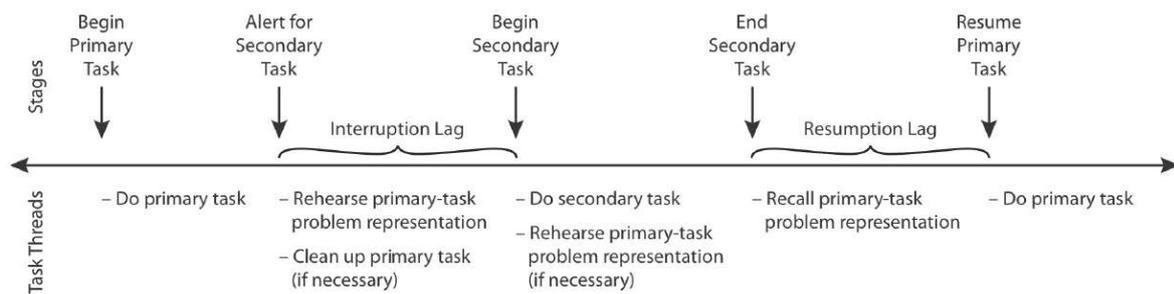


Figure 8 : Les étapes d'une situation de multi-tâches selon Salvucci *et al.* (2009)

A noter enfin que des chercheurs ont démontré un lien entre CDT et niveau d'interruption : il existe des moments opportuns identifiables grâce à la mesure des niveaux de charge de travail (Iqbal & Bailey, 2005). Dans leurs expérimentations où deux tâches génèrent des niveaux de charge très différents, les auteurs ont démontré que l'interruption était nettement moins délétère pour la performance dans la tâche dans le cas d'un CDT faible. Il semblerait donc que l'effort mis dans la réalisation d'une tâche soit un des déterminants du niveau de facilité à interrompre cette dernière.

Concernant la transition de contrôle entre un système de conduite automatisé et un conducteur engagé dans une TVB, comprendre et anticiper l'impact de l'interruption d'une TVB sur la performance à réaliser la tâche de reprise en main qui suit apparaît dès lors comme essentiel. Il est possible d'adopter une posture optimiste en s'appuyant sur des travaux qui rapportent que l'effort d'interruption est influencé par la hiérarchisation des tâches (Adamczyk & Bailey, 2004). Il serait

alors plus facile d'interrompre une tâche avec une nouvelle tâche d'un niveau hiérarchique supérieur à la première. Faut-il encore que la priorisation des activités soit correcte dans le système de représentation du conducteur.

Engagement dans une tâche et interruptibilité n'ont été que très peu liés dans la littérature. Néanmoins, quelques auteurs lient ces deux concepts très fortement en postulant que le niveau d'engagement dans la tâche influencera le coût d'une interruption (Iqbal & Bailey, 2006) ou le niveau d'effort nécessaire à une interruption de la tâche en cours (Freeman & Muraven, 2010). Le caractère séquentiel de la transition de contrôle s'assimile aux structures étudiées par les théories de l'interruptibilité. La nécessité d'interrompre une tâche pour passer à une autre est un élément clé du bon déroulement de cette transition et mérite une attention particulière. Dans la section III.D.a, un tableau répertorie les mesures de l'interruptibilité existant dans la littérature (Tableau 9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

5. L'engagement dans la tâche en tant que facteurs du stress

Dans des domaines de recherche différents de celui de l'automobile, l'engagement dans la tâche a été théorisé dans l'étude de l'état de stress chez des opérateurs (Matthews et al., 2010). A travers ses travaux s'intéressant à l'influence du stress sur la performance, le Pr. Gerald Matthews fait partie du peu de chercheurs s'étant particulièrement intéressé à la question de l'engagement dans une tâche et de sa relation avec les autres grands processus attentionnels dans la littérature contemporaine (Matthews et al., 1999). Il aborde ce concept dans le chapitre 13 du livre s'intitulant *Handbook of Individual Differences in Cognition* (Matthews et al., 2010a, Chapitre 13). Ce chapitre décrit l'importance capitale des différences inter-individuelles dans l'étude de l'implication des processus d'engagement attentionnel dans une tâche pour l'appréciation d'une performance. Il introduit le Dundee State Stress Questionnaire comme outil de mesure du stress, des mécanismes attentionnels et des processus d'auto-régulation nécessaire à toute démarche de mesure de performance dans une tâche. Selon l'auteur, la théorie du U-inversé schématisant la relation demande-performance, bien que pionnière dans l'explication de la performance opérationnelle, est maintenant dépassée. Elle a permis d'avancer sur le concept charge de travail et de mettre en avant les phénomènes de sous-charge et surcharge. Un des principaux postulats de cette théorie est une relation que l'on peut qualifier de séquentielle entre les trois concepts suivants : les « stressors », l'

« arousal » et l'attention. En effet, selon l'auteur, l'attention est fonction du niveau d'arousal qui est lui-même fonction des stressors. L'arousal est considéré comme facteur facilitateur de l'attention. Matthews, par sa propre approche et ses études, conclut que *l'energetic arousal* est un marqueur de la disponibilité des ressources attentionnelles.

Toujours selon ces travaux, l'engagement dans la tâche est le résultat de la variation de trois éléments : l'excitation énergétique (« energetic arousal »), la concentration et la motivation. Chaque sous-facteur est un score, combinant plusieurs items abordant les différents aspects de chaque sous-facteur, et est concrétisé sous la forme qu'un questionnaire : le « Dundee Stress State Questionnaire » (DSSQ). Le DSSQ est un outil développé pour mesurer les multiples dimensions de l'état de contrainte. Il contient 90 questions. Dix échelles primaires, nommées « échelle de premier ordre », sont identifiées et sont chacune liées à l'un des trois domaines suivants : l'humeur, la motivation et la cognition (plus précisément les capacités de mobilisation de l'attention). Ces dix échelles ont elles-mêmes porté sur trois dimensions de l'état de stress :

- L'engagement dans la tâche intègre énergie, motivation et concentration.
- La détresse correspond à un manque de confiance en soi et de contrôle perçu et dépend de la charge associée à la tâche.
- L'inquiétude est un état cognitif défini par une focalisation sur soi, une faible estime de soi ainsi qu'une interférence cognitive entre la tâche en cours et les préoccupations personnelles.

Le DSSQ est validé pour la mesure du stress depuis 1999, et utilisé dans de nombreuses tâches professionnelles (contrôleurs aériens, chauffeurs longue distance, simulations vidéo-chirurgicales). Sa robustesse et sa construction en trois volets indépendants permet d'utiliser précisément un des trois facteurs, celui d'engagement dans la tâche dans le cadre des travaux réalisés pour cette thèse. Cette décision a fait l'objet d'une étude préliminaire décrite dans la section expérimentale (IV.A).

E. L'engagement dans une TVB en condition simulée de transition de contrôle : manipulation et évaluation (Article 1)

1. Résumé de l'article

Cette dernière section présente un travail de revue de la littérature qui recense les expérimentations traitant de l'engagement dans une TVBs en conditions de conduite hautement automatisée et impliquant une reprise de contrôle du véhicule en cours de simulation. Nous avons précisément tenté de comprendre et d'expliquer comment l'engagement était manipulé, mesuré et analysé dans le panel d'articles sélectionnés. Parmi les études retenues, nous avons pu constater que certains auteurs ont fait le choix expérimental de créer un protocole ayant pour but de faire varier l'engagement du conducteur par le choix des activités à réaliser à bord pour ensuite tenter d'observer l'effet de cette variabilité. Il est dans ce cas précis utilisé comme variable indépendante. D'autres chercheurs, à contrario, ont préféré utiliser des mesures de l'engagement à travers certains facteurs reconnus (allocation de ressources, effort cognitif, charge mentale de travail, effort d'interruption). Ainsi, l'engagement attentionnel ou ses facteurs sont utilisés comme variables dépendantes. Les deux approches ont pour but final d'étudier les différences entre des activités de la vie courante réalisées à bord d'un et chercher des corrélations avec le comportement de conduite lorsqu'une reprise de contrôle était nécessaire. Nous présentons une approche de la transition de contrôle selon les différentes étapes de l'engagement par lesquelles passe le conducteur lors d'une transition de contrôle. Elles se répartissent en trois étapes qui ne se succèdent pas forcément d'une manière séquentielle. En effet, nous avançons que contrairement aux états du système qui se veulent particulièrement séquentiels (pilote automatique en marche, en arrêt), le conducteur traverse différentes phases d'engagement, de désengagement puis de réengagement qui peuvent se chevaucher de manière variable. Nous avançons enfin que ces différents états peuvent être mesurables chacun séparément grâce notamment à des outils recensés par cette revue de la littérature.

2. Contenu de l'article

How Do Non-Driving-Related Tasks Affect Engagement Under Highly Automated Driving Situations? A Literature Review

Marie Jaussein^{1*}, Lucie Lévêque², Jonathan Deniel³, Thierry Bellet¹, Hélène Tattegrain¹, and Claude Marin-Lamellet⁴

¹TS2-LESCOT, IFSTTAR, Univ Gustave Eiffel, Univ Lyon, Lyon, France,

²Nantes Laboratory of Digital Sciences (LS2N), University of Nantes, Nantes, France,

³Study of Cognitive Mechanisms Laboratory, Lyon Lumière University, Lyon, France,

⁴TS2, IFSTTAR, Univ Gustave Eiffel, Univ Lyon, Lyon, France

* Correspondence: marie.jaussein@univ-eiffel.fr

Keywords: highly automated driving, non-driving-related task (NDRT), takeover, task engagement, task disengagement, interruptibility.

Abstract

Driving automation has become a trending topic over the past decade, as recent technical and technological improvements have created hope for a possible short-term release of partially automated vehicles. Several research teams have been exploring driver performance during control transitions performed under highly automated driving (i.e., while resuming manual driving, when facing a critical situation for instance). In this paper, we present a state of the art of studies dealing with control transitions as well as the concept of non-driving-related task (NDRT) engagement. More specifically, we aim to provide a global view on how task engagement is investigated in the literature. Two main utilisations of task engagement emerged from our literature review: its manipulation as independent variable to vary the driver's engagement state before a control transition, and its measurement as dependent variable to compare its variation to driving behaviour variables during a control transition. Furthermore, we propose a new perspective on control transition, which was so far studied through a techno-centric approach; research works were indeed designed in function of the system state. Our article suggests a more cognitive-centred view by taking in account the evolution of engagement mechanisms along control transition stages. Finally, we provide a categorisation of engagement mechanisms' variables involved during these different stages, with a view to facilitate future investigations on the driver's engagement state during this crucial phase of highly automated driving.

I. Introduction

Recent technical and technological progresses have set the scene for the introduction of driving automation systems. Automated vehicles, i.e., vehicles without active drivers, may appear as the most critical challenge. As they have been studied since the advent of automation in aeronautics, the impacts of delegation of control, system supervision, and control transitions, are now investigated for car drivers' behaviour (Bainbridge, 1987; Endsley & Kaber, 1999). In the near future, drivers will be able to act like passengers, i.e., to focus on a completely different activity than road management, leading to an evolution of the cognitive functions involved (e.g., allocation of attention). Considered in the past as distractions and the potential cause of numerous road accidents, activities realised on board during automation phases, called non-driving-related tasks (NDRTs), are now studied from a different point of view. Stanton & Young first advocated the benefits of staying stimulated when automation on board increases, as the amount of attentional resources generated for a given task is considered "available" for a potential new task to process (Stanton & Young, 1998). They later concluded that the phenomenon could be the same in the case of highly automated driving (Young & Stanton, 2002). From this point of view, NDRTs could be seen as a tool to maintain drivers in a cognitive state which would allow them to takeover control of the vehicle. However, other researchers do not share this opinion. In fact, several studies found that being involved in a NDRT significantly led to worse takeover quality (Neubauer *et al.*, 2012; Naujoks *et al.*, 2016; Zeeb *et al.*, 2016; Eriksson & Stanton, 2017; Mok *et al.*, 2017). Yet, other research works showed that most drivers decided to engage in a NDRT when they could under automated driving (Carsten *et al.*, 2012a; Llaneras *et al.*, 2013). Assuming that some activities will become very popular on board, such as the use of electronic devices (T. Dingus *et al.*, 2006), exploring their impact on drivers' attentional state, and capacity to resume manual driving when necessary, has become very common over the last decade. The question "how much time does a driver need to safely take over?" has already been widely addressed. In their large and complete meta-analysis, Zhang *et al.* discussed the critical issues raised by automation-to-manual driving transition throughout time to regain control (Zhang *et al.*, 2019a). Significant decrease of performance was observed compared to control groups (Merat *et al.*, 2012; Beukel & Voort, 2013). Other studies showed that, in situations of control transitions, experienced drivers were quicker to achieve road situation elements than novices (Wright *et al.*, 2016). Several works concluded that simulator variables were robust measures to assess manual driving performance (Gold *et al.*, 2016;

Melcher et al., 2015; Wester et al., 2008). A few studies on general transitions from system to driver showed that the higher the level of automation, the longer the drivers' reaction times (Gold *et al.*, 2013; Strand, 2014). The strong interest of researchers for control transition between a driver and an automated driving system is legitimate. It indeed involves complex mechanisms (as we will see afterwards), taking place in complex situations. The legislation around highly automated vehicle is being discussed and will have to determine, among other issues, whether it is a good thing or not to do activities during the autonomous phases. Are these activities beneficial or harmful? Should they be prioritised? This ongoing challenge is addressed by several research teams from the field of highly automated vehicles, in different ways around the world. Our review puts together these approaches and offers a global view on how transition of control should be addressed by taking into account the human factor.

Takeover design, time to takeover, steering wheel angle, and standard deviation of lateral or longitudinal position have been widely used to study control transition. Their importance is indisputable in the process of understanding how automation modifies driving behaviour, yet human factors should be addressed with the same interest. NDRTs have been less investigated through their impact on drivers' cognitive state. Indeed, they have often been defined as secondary tasks, or even conditions to induce different driver states prior to a takeover request. Even though task engagement mechanisms seem to be the most involved cognitive functions during on-board activities, only a few studies explored them for the driving context (Park et al., 2019a), despite their major implication on drivers' attentional state and availability to ensure safe driving. The few studies which examined the impact of NDRTs on driver performance have increasingly used the concept of task engagement. Whether it is considered as the result of the provision of attentional resources (Lee, 2014; M. Young, 2010), workload level (Ko & Ji, 2018), task difficulty (Pohl & Murray-Smith, 2013), or as a combination of key variables like energy arousal (Matthews et al., 2010b), the study of task engagement seems essential to understand the mechanisms involved in the complex task of control transition. Control transition is indeed a complex situation, and contains several phases to be distinguished (Naujoks et al., 2018a). Soon, drivers will be able to delegate the driving situation handling to a system and concentrate on other activities on board. They become "drivengers", a term to evocate the switch between driver and passenger states (Reilhac, 2015). The "drivengers" can engage in NDRTs, from which they will then have to disengage while re-engaging in the driving situation. The importance of studying engagement mechanisms during transitions

between tasks was previously highlighted by various researchers. The existence of an optimal state of engagement in a task before switching to another one has been theorised. In the case of an optimal task engagement state, a transition to another task would be easy and would not degrade performance (Pashler *et al.*, 2001). Marberger *et al.* tackled this issue through the concept of “driver availability”, within the framework of control transition (Marberger *et al.*, 2018). Indeed, their model attempted to discern the phases of transitions, notably by considering the driver’s cognitive state. A driver state transition is mentioned, distinguished from the system state and from the two surrounding phases (i.e., NDRT and manual driving). The need to differentiate the driver’s cognitive states as stages of a transition progress was also put forward by the multitasking model based on the threaded cognition theory (Salvucci & Taatgen, 2008; Salvucci *et al.*, 2009). They defined the concepts of “interruption lag” and “resumption lag”, constituting the transient state of the driver between two tasks. It therefore appeared necessary to focus more precisely on these stages of the control transition. The objective of this state of the art is to provide a clearer view on how engagement in NDRT is manipulated and/or measured in studies on vehicle control transition. We present how NDRTs were used by research teams who aimed to observe their impact on the driver state during vehicle control transition, and how this effect was measured in terms of engagement in both NDRT and driving task. Furthermore, existing literature currently proposes techno-centric approaches on control transitions (Naujoks *et al.*, 2018a), whereas our article suggests a more cognitive-centred view. Finally, we provide a categorisation of engagement mechanisms’ variables involved during the different stages of control transition.

To this end, several articles were collected via Google Scholar searches and via a list of references from a previous literature review (Naujoks *et al.*, 2018a). The covered publication period was restricted to the last decade (i.e., between 2010 and 2020). The screening process was based on several inclusion criteria. First, attention, workload, engagement, or disengagement concepts had to be clearly mentioned as a variable. Selected studies also had to provide enough accurate information on the procedure dedicated to instructions and design for the NDRTs. Being centred on NDRT and providing cognitive explanation was also necessary for inclusion (e.g., studies focusing on NDRT and comparing different age groups were included). Finally, NDRTs had to be ecological (i.e., close to most likely chosen NDRTs in real life), to avoid the existing gap between standardised and ecological tasks (Stanton & Young, 2003; Shinar *et al.*, 2005; Zeeb *et al.*, 2016). Automated driving systems implemented and tested in these studies had to be of SAE level 3 or 4

(SAE, 2018). After a screening procedure and duplicate removal, twenty-three entries were thoroughly studied, resulting in the dismissal of seven entries due to incompatibility.

In this article, a specific approach of engagement mechanisms in the context of control transition under highly automated driving (HAD) was adopted. Indeed, after literature inspection, it appeared that engagement in NDRT was either considered as a manipulated variable in order to assess its consequences, or as a measured variable with a view to quantify, describe, and interpret the process of transition from NDRT to manual control in the advent of a takeover request. In the studied experimental protocols, engagement in NDRT was sometimes considered as an independent variable, or as a dependent variable. On the basis of this observation, this review examines the presented literature depending on how engagement was considered. Section 2 firstly considers articles that manipulated engagement with a task-driven approach, and then with a cognition-driven approach; in Section 3 are scrutinised articles measuring engagement through performance, and then through subjective assessments. Table 1 offers a global view of the repartition applied to the reviewed paper corpus. The literature is finally discussed in order to provide a synthetic view of the matter in Section 4, where a resulting more complete way of approaching the study of engagement in NDRT during automated driving is introduced.

II. The Manipulation of Engagement

This first section includes and details studies which declared a manipulation of task engagement or engagement factors through non-driving related tasks. To explain their methodological approach to vary drivers' engagement in NDRTs, two main perspectives were observed in the reviewed papers. One was focused on the task, in which case, the research teams justified the creation of different drivers' engagement levels as independent variables by the manipulation of the task. Through the manipulation of the task properties, different levels of engagement were created. This task-driven approach is presented in Section 2.1, which describes works where NDRTs were established in function of their type, or of an expected difficulty level. The other approach identified in the reviewed papers was defined on cognitive process manipulation. Indeed, cognitive theories on engagement mechanisms were used to create experimental designs varying drivers' engagement in NDRTs. Section 2.2 deals with these studies. Figure 1 illustrates how the repartition of the studies was made. This tree-figure contains two main parts: the left branch presents the criteria used to organise Section 2.1, describing the papers which used a task-driven approach, while the right

branch illustrates the criteria related to Section 2.2. Table 2 provides a detailed overview of the content extracted from the articles that manipulated engagement.

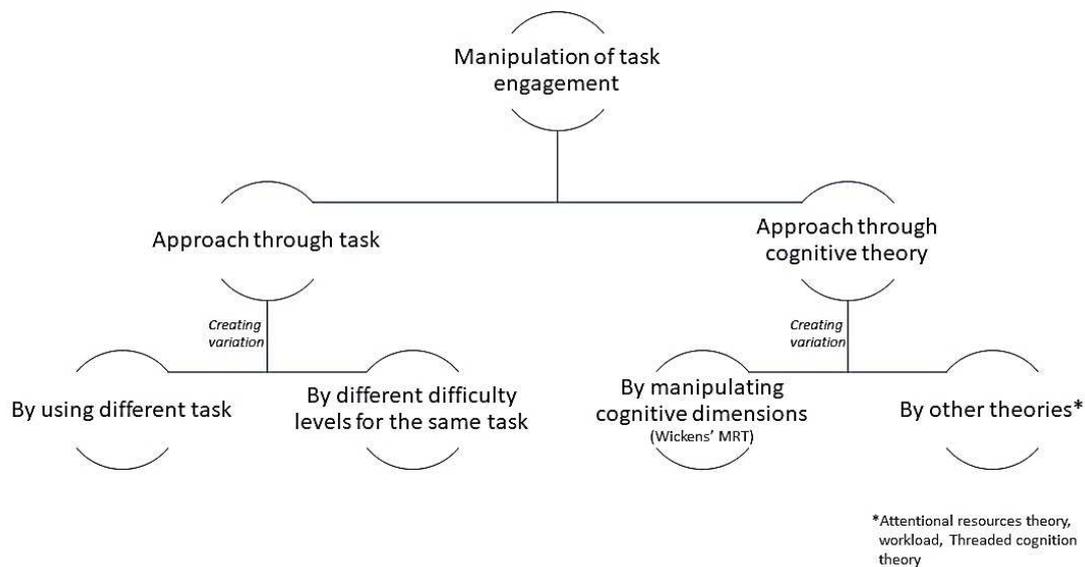


Figure 9: Illustration of task engagement manipulation in the selected studies

1. Task-Driven Approach

Miller *et al.*, identified task engagement as the new cognitive mechanism to investigate in the context of highly automated driving, instead of distraction and secondary tasks in the case of manual driving (Miller *et al.*, 2015). To do this, they designed a simulator study where participants had to experienced three different NDRTs during automated drives, i.e., reading a book extract on a tablet, watching a video on a tablet, and supervising the advanced driver-assistance system (ADAS). The NDRT type was chosen in function of their induced level of driver.: the authors expected a low level of engagement when supervising the ADAS, associated with a high level of drowsiness; whereas they qualified the two other tasks as “stimulating”, and yielding more engagement but less drowsiness. After each automated drive, a takeover was necessary. A post-drive questionnaire questioning participants about their engagement in each NDRT was mentioned in the protocol description, yet no information was given in the results. Reaction times when a takeover request appeared (i.e., time to press a button, and time to initiate first manoeuvre), and the minimum distance to a leading object were also recorded.

Last year, Wu *et al.* released their study on the effects of NDRT engagement on drowsiness and takeover performance (Wu *et al.*, 2020). Three age groups were invited to sit in a driving simulator

and to engage in diverse tasks: automated driving without NDRT (i.e., control group), video watching, or alternating video watching with playing Tetris. They were asked to stay in their motorway lane. Suddenly, a stopped van appeared in front of the ego vehicle, and a takeover request was issued. Before and after each scenario, participants were asked to rate their drowsiness using the Karolinska sleepiness scale (Shahid *et al.*, 2012). Their eye blink duration was recorded thanks to an electrooculogram, and the TimeSteer (i.e., time until steering) and sdSteer (i.e., standard deviation of the steering wheel angle) were collected. sdSteer allowed to measure manoeuvring smoothness. Differences between the ratings of drowsiness before and after each scenario was calculated; statistical analyses revealed a significantly smaller value for younger drivers between NDRT conditions and no NDRT. For middle-aged drivers, only the alternating task led to a smaller difference compared to the control condition. Finally, no significant difference was found between the tasks for older drivers. Eye blink durations generated similar results. TimeSteer values were not statistically significant among task conditions for younger drivers, however, the latter tended to react faster when engaged in a NDRT. Opposite results were found for the middle-aged group. For older drivers, there was no difference between the control and video-watching conditions, whereas alternating between watching and playing yielded slower reactions. Differences in sdSteer were only revealed for older drivers, with a poorer stability under the swap condition. In general, younger drivers showed faster reactions but less stable steering under NDRT conditions; middle-aged drivers had slower reactions under both NDRT conditions; and older drivers had long reaction times and poor stability under the demanding NDRT. The authors concluded that NDRT engagement had a positive influence for younger drivers.

Lately, Yoon & Ji examined the impact of three different NDRTs, i.e., interacting with an entertainment console by continuously searching for a radio station, interacting with a smartphone by playing “1-50”, and watching a video where they had to count the number of balls passed (Yoon & Ji, 2019). The participants’ inner spirit of competition was highly invoked as they had to obtain the best scores possible for the first two tasks, and to inform the experimenter about the number of passes. Workload was assessed using the NASA-TLX questionnaire (Hart & Staveland, 1988); and the gaze-on time (i.e., before first gaze through windshield after takeover request), fixation time (i.e., before first gaze on the road), hands-on time (i.e., before grasping steering wheel), and takeover time (i.e., to resume manual control) were calculated to quantify takeover performance. Visual performance data was collected using an eye-tracker. Each participant was required to

complete three sessions for the experiment. Within each session, they were asked to perform takeover at three distinct points, for non-emergency situations: participants had to change lanes as the number of lanes changed from three to four, or from four to three. Data analysis was conducted in three steps, i.e., subjective evaluation, objective evaluation, and correlation between both. Statistical analyses showed that each task had a significant effect on the workload: interaction with the entertainment console was scored significantly lower than the two other tasks, notably in terms of mental demand and effort. As for objective measurements, an ANOVA demonstrated significant differences between tasks for the gaze-on, fixation, and takeover times; however, there was no impact on the hands-on time. A negative correlation was found between workload and takeover performance. As a summary, the different tasks had statistically significant effects on manual takeover.

Borojeni *et al.* presented their work, with two main research questions in mind: one linked to the type of automation, and one to the effects of engagement (Borojeni *et al.*, 2018b). The participants had to engage in a reading span task with unconnected sentences, and were required to determine which ones made sense. They were also asked to recall a word after each sentence, and later to type them in the correct serial order (three words for the low-level condition, five under the high-level one). Two takeover requests were studied: an information one, warning about an upcoming takeover, and a decision one, priming with appropriate manoeuvre. Requests were made to the participants for specific events, e.g., when the lead car suddenly braked. Depending on the traffic situation, drivers had to steer left, change lane and overtake, or to brake and overtake. Reaction time (i.e., between request and action), time to collision (i.e., between action and collision with lead car), number of collisions, of alternative manoeuvres (i.e., when participants steered instead of braking and *vice versa*), gaze behaviour (i.e., frequency and duration), and performance in NDRT were measured. Workload was rated thanks to the NASA task load index (NASA-TLX) questionnaire (Hart & Staveland, 1988). An analysis of variance (ANOVA) showed a significant effect of automation type (i.e., information vs. decision) on reaction time: takeover was performed faster under the decision condition. However, no significant effect of engagement level was found on reaction time. Similar results were observed for the time to collision. Statistical analyses of the subjective data demonstrated no effect of the automation type, but a significant impact of the NDRT engagement on the workload. Collected eye-tracking data showed no differences between

experimental conditions. Borojeni *et al.* concluded their article by suggesting a few interesting points for the design of future takeover requests.

In a simulator study, Wandtner *et al.* investigated NDRTs' engagement mechanisms, also using different task difficulty levels (Wandtner, Schömig, et al., 2018d). In addition, they studied the effects of a predictive human-machine interface (HMI) on participants' behaviour during control transitions. Twenty participants drove on a simulated track, alternating sections of manual and automated driving, while a visual-manual texting task was offered to them on a tablet. More precisely, they had to transcribe a given text made with short or long sentences (i.e., thirty vs. ninety characters). One group was encouraged to achieve as many tasks as possible while the other had no particular instruction. An HMI was located on the centre console. It continually displayed the test progression in real-time gauges with more or less information, depending on the HMI condition (i.e., predictive vs. basic HMI). The predictive HMI gave much more precise information than the basic one about the progression of each section (i.e., automated or manual). The same takeover request was presented at the end of each automated phases when a sharp bend appeared to the left side of the road. To measure task engagement, the number of tasks accepted during both manual and automated driving was counted. Typical simulator aspects, like time-response variables or quality measures (i.e., time until hands were back at the steering wheel, time until system deactivation or variability of lateral position, lane exceedances, and maximum accelerations), were recorded and analysed. Results showed that, even in the case of imminent takeover, several participants started a new NDRT. NDRT engagement was correlated with significantly poorer performances during takeover. A phenomenon of task perseverance was observed during takeover in most cases. Under the predictive HMI condition, where self-regulation processes were encouraged, takeover performance was better. For instance, during regaining control of the vehicle, participants better controlled lateral parameters.

In 2017, Zeeb *et al.* studied the impact of NDRTs on critical takeover situations (Zeeb *et al.*, 2017). Participants were asked to engage in two tasks i.e., reading ("easy task"), and proofreading ("difficult task"). One group of participants had the tablet mounted, whereas another group had to hold it to analyse the effects of manual task load. Finally, a control group (i.e., not engaged in any NDRT) was involved. Two distinct takeover situations were presented: a lateral one (wind gust), where participants had to react with a steering intervention; and a longitudinal one, where they had

to brake to avoid a collision. After each situation, the participants were asked to score their alertness, and how mentally demanding were the minutes prior to the takeover. Time to eyes on (i.e., before first gaze on the road), time to hands on (i.e., before first contact with the wheel), and time before intervention were measured. Furthermore, takeover quality was recorded. Data analysis showed a significant effect of the task difficulty on alertness and mental load ratings: the control group rated both values lower than the other groups. No difference in alertness was found between easy and difficult tasks; however, difficult task yielded higher mental load. The tablet position had a significant influence on the reaction times, which were longer for the handheld group. Differences were also found in terms of takeover quality, with the handheld group having larger lane deviation and shorter time to lane crossing. The cognitive task load also had an influence on times to hands on and to first steering, but not on time to eyes on; yet there were no differences between easy and difficult tasks. To conclude, manual task load had effects on reaction times and takeover quality for both interventions, whereas cognitive task load had no influence on takeover performance.

2. Cognition-Driven Approach

In a first study, Wandtner *et al.* used Wickens' MRT (Wickens, 2002) to analyse the influence of task modality and cognitive workload on takeover (Wandtner, Schmidt, et al., 2018a). Fourteen participants experienced six automated driving scenarios, each followed by a critical takeover situation. During automation phases, participants conducted NDRTs on a handheld tablet; all of them experienced each task type, as described below. To explore the impact of NDRTs, the authors applied a mix of task modality (i.e., visual, auditory, and manual) and cognitive workload (i.e., medium vs. high level) factors. The visual-manual condition was equivalent to previous study (i.e., Wandtner *et al.*, 2018b). The visual-manual with high workload condition had, in addition, the objective to "alphabetise" each word that contained errors (e.g., "deirv" had to become "drive"). The authors assumed that such variations could affect takeover performance. Classical metrics of drivers' takeover performance, concerning reaction time and quality takeover, were recorded and analysed. Timing aspects were assessed using the time from takeover request until both hands were on the steering wheel, and from the brake-response time. Reaction times showed an influence of the NDRT type, with a significantly longer hands-on time for the visual-manual task than for the auditory-vocal task. A significant effect of a high workload task was observed on the time to brake.

Wandtner *et al.* focused on the influence of NDRTs on drivers' engagement and takeover performance in another study (Wandtner, Schömig, et al., 2018a). Thirty participants were invited to experience five scenarios ending by a takeover. All takeover situations were considered critical as the participants had no possibility to anticipate (i.e., situations were hidden by scene objects). During automated phases, participants were asked to engage in NDRTs. Based on Wickens' multiple resource theory (MRT) (Wickens *et al.*, 2002), cognitive modalities were manipulated to create different demand levels. For one group, tasks were locked out when takeover requests appeared, whereas no such condition was applied to the other group, who could continue their task. The NDRTs were exercise-type, based on the same goal, i.e., to transcribe sentences. For the auditory-vocal condition, participants had to listen to sentences and repeat them aloud. Under the visual-vocal condition, participants had to repeat sentences presented on the tablet mounted on the centre console. For the visual-manual condition, they were requested to read sentences displayed on the tablet and to type them. This condition was split into two versions depending on where the tablet was located (i.e., on the centre console or in participants' hands). Sentences followed each other without any break to ensure participants stayed engaged, and the latter were encouraged to complete as many tasks as possible with a monetary incentive. All participants experienced each of the four task types, as well as a control sequence (i.e., without NDRT). Classical dependent variables were used to evaluate takeover performance: reaction time was measured through hands-on and brake-response times (i.e., from takeover request until the brake pedal was sunk). A significant effect of task modality was found on hands-on time: when using hands to hold the tablet, the time to regain control was higher. No significant effect but a tendency on brake-response time was found. A significant effect of NDRT condition was found on the time to collision, with the visual condition associated with shorter times, whereas only a slight tendency was observed on the number of collisions.

Three years ago, Roche *et al.* explored the impact of NDRT cognitive modality on drivers' behaviour (Roche et al., 2019b). Six automated phases, which always ended by a takeover request, were tested in their experiment. Participants had to regain control before the beginning of a construction site that prevented the automated system from continuing. Two takeover request designs were tested on two distinct groups; one was an auditory alert, whereas the other one was combined with a visual message. During automated phases, participants were instructed to play a game consisting in a question-answer challenge, which was designed in two versions to vary

involved cognitive dimensions. More specifically, the game was either offered via an auditory mode (i.e., the experimenter read questions aloud, and participants were asked to answer aloud), or via a visual mode (i.e., questions were presented on a tablet, and participants had to tap the answers). In this study, the NDRTs were presented as distractions for the drivers. It was expected that the multiplication of stimuli which came from the same cognitive modality, especially in visual cases will lead to poorer performance, in line with Wickens' multiple resources theory (Wickens's 2002). Classical driving data were recorded from the simulator as the takeover time, some lateral and longitudinal variables (i.e., minimum acceleration, standard deviation of lateral position (SDLP), and steering wheel angle), and time to collision. Fixation durations on the road were also recorded thanks to an eye-tracker. Results showed an effect of NDRT modality on SDLP and gaze behaviour: participants looked less at the road when NDRT required visual effort, compared to auditory NDRT. From the takeover request to its end, corresponding to the beginning of a construction site, SDLP appeared to be larger after a visual NDRT than an auditory NDRT.

Befelein *et al.* investigated eight takeover situations on the highway to evaluate the impact of NDRTs' motivational aspects and interruption effort on takeover performance (Befelein *et al.*, 2018a). Emergency takeover requests were examined: the ego-vehicle was following a lead vehicle when, suddenly, a broken-down vehicle appeared. A visual and auditory takeover request was consequently issued to avoid collision. Each participant was required to complete two distinct blocks; one where the NDRT led to external incentive, and one where it was only a hobby. Each block was composed of two situations with high interruption effort, and two with low interruption effort, as further defined. The authors chose the video game Tetris as NDRT. For the high interruption effort, participants were asked to pause the game, put the tablet in a box, and place a lid on that box; whereas, for the low effort, they only had to pause and put the device aside. Reaction times, i.e., time between request and first driver reaction, were measured for every situation. Furthermore, participants were asked to rate several items on discrete Likert scales, including the situation criticality, their takeover performance, and their motivation. Subjective ratings showed significant differences between low and high interruption efforts: criticality was rated higher, and takeover performance was scored lower in situations with high interruption effort. No statistically significant differences were found between both motivation conditions (i.e., with or without external rewards), however, the performance condition was considered more dangerous than the hobby condition. As for objective measurements, participants reacted significantly slower in

situations with high interruption effort. There were no significant differences between motivation conditions. Befelein *et al.* concluded by highlighting the fact that task interruption effort requires further attention, as it has a critical impact on takeover reaction times.

Simultaneously, Ko & Ji published their own work in two parts, aiming to analyse flow experience, mental workload, and reaction time under automated driving (Ko & Ji, 2018). Their first experiment is detailed in Section 3.2. In the second experiment, participants were asked to sit in a driving simulator and to perform two different NDRTs, i.e., watching a video and reading an article on a tablet, under three levels: a low-demand level (i.e., boredom condition), a mid-skill level (i.e., fit condition), and a high-demand level (i.e., anxiety condition). At given points, the participants were informed through an auditory sound to resume manual driving. Their gaze behaviour was recorded using eye-tracking glasses. Their reaction time, consisting of four variables, i.e., gaze-on time, road-fixation time, hands-on time, and takeover time, was registered. Participants were required to fill in two subjective questionnaires after completing the scenarios: a flow short scale to measure flow experience (Engeser & Rheinberg, 2008), and the NASA-TLX questionnaire (Hart & Staveland, 1988). Statistical analyses showed a significant difference in the perceived difficulty of each task, with video watching perceived easier. The anxiety condition required a higher demand level than the fit condition, which required a higher one than the boredom condition. Each task had a significant impact on the flow experience, with a difference between the fit condition and the other two conditions (i.e., boredom and anxiety). Mental workload was rated differently for each task, with the reading task rated higher than video watching. Objective measurements led to complementary results: significant effects of the experimental condition were found for all the aspects of the reaction times. More precisely, there was a significant difference between the fit condition and the other conditions, but no difference between boredom and anxiety conditions. To conclude, the authors claimed that flow experience, mental workload, and reaction time depended on the experimental condition.

Last year, Tanshi & Söffker conducted a driving simulator study to better understand human behaviours while resuming manual driving (Tanshi & Söffker, 2019). They defined four distinct scenarios; each scenario presenting two different complexity levels (i.e., easy vs. difficult, depending on the ego speed). The first scenario represented a fixed obstacle on the highway, not visible due to fog. For the second scenario, also taking place on the highway, a slow vehicle ahead

had to be overtaken. For the third one, participants were required to exit the highway. Finally, the fourth scenario corresponded to a right turn on a four-way intersection on a country road. Before taking over from automated to manual driving, the participants were invited to perform three NDRTs: reading, proofreading, and proofreading out loud. After takeover, participants had to fill in the situation awareness rating technique (Taylor, 1990), and NASA-TLX Hart & Staveland, 1988) questionnaires. Moreover, their takeover time was recorded. Analyses of the results showed that takeover time under difficult complexity level was higher for the first and third scenarios, but not for the second and fourth. This can be explained by the fact that dynamics were different. As far as situation awareness and workload are concerned, they appeared to be higher for the easy level for all scenarios but the second one. In general, takeover time for the reading task was higher than for proofreading and proofreading out loud; however, this was due to a learning effect, as reading was linked to the first scenario presented to the participants. Thanks to these results, Tanshi & Söffker developed a model defining the dependencies of a situation complexity on takeover time.

III. The Evaluation of Task Engagement

In this section, studies which measured task engagement as a dependent variable are described.

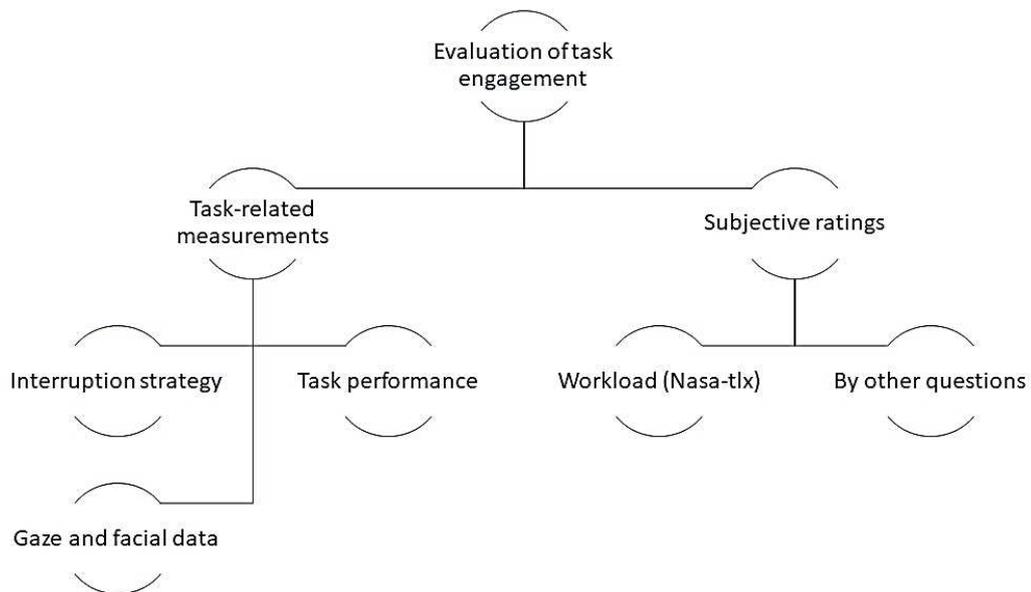


Figure 10: Illustration of task engagement measurements in the selected studies

Two main ways to measure NDRT engagement was observed. Section 3.1 represents works where engagement was measured through task management during automated driving and control transition., whereas Section 3.2 concerns articles where task engagement measurement was made

through participants' subjective ratings. Figure 2 recapitulates this categorisation. The figure is composed of two parts: the left branch describes the criteria used to organise Section 3.1; dealing with the papers which used task-related measurements to evaluate NDRT engagement, whereas the right branch represents Section 3.2 which reviews the use of subjective ratings. Table 3 further details the articles' content relating to the evaluation and measurement of task engagement.

1. Task-Related Measurements

To analyse some quality aspects to further investigate drivers' behaviour, Wandtner *et al.* used multiple dependent variables in their simulator study described in Section 2.1 (Wandtner, Schmidt, et al., 2018a). The number of collisions, maximum longitudinal decelerations, takeover criticality, and subjective workload were recorded. Workload was used to assess engagement, whereas disengagement was measured by observing how drivers dealt with NDRTs in takeover situations. In fact, NDRT disengagement was evaluated using a behaviour classification regarding the interruption strategy and more precisely the task manipulation from the takeover request until the end of the takeover situation. Behaviours varied depending on the task, more especially on the task modality and time-budget.

Then, to continue the exploration of engagement and disengagement measurements, Wandtner *et al.* defined new dependent variables (Wandtner, Schömig, et al., 2018a). In their second study, detailed in Section 2.2, the authors observed how participants dealt with the tablet when a takeover request appeared. Only five participants dropped it off the passenger seat, whereas twelve put it on their thighs, and thirteen kept it in one hand while taking back control of the vehicle with the other hand. The authors also coded the behaviour series. They noted that more participants braked before putting their hands on the steering wheel under the visual–manual handheld condition than under the other conditions. The number of collisions, minimum time to collision, and maximum decelerations were investigated as quality measures. The way participants from the no-lockout group (i.e., when the task was not blocked when a takeover request appeared) dealt with the task was also examined. Three different behaviours were observed, i.e., an immediate interruption and no task resumption, an interruption with a resumption of the task after responding to the request, and a continuation of the task even during takeover and manual driving. Along with Wickens' theory (Wickens, 2002), the more the task was demanding, the more it was immediately abandoned; auditory-vocal tasks were more often continued than visual-manual-handled ones. Subjective

workload ratings indicated a higher level for visual-manual tasks than for different vocal tasks. Visual-vocal conditions were also rated significantly higher than auditory-vocal conditions.

Concerned by age differences in driving and on-board behaviours, Clark *et al.* explored this question through a simulator study (Clark *et al.*, 2017b). Two groups of participants (younger vs. older) drove on experienced three driving sessions, each with four transitions of control, on a simulated highway track. A takeover was requested when entering a construction zone. During automated driving, they were free to engage in any NDRT as they would do in real life. The NDRTs observed were: reading, reaching an object, grooming, using an electronic device, playing a horse videogame, talking to other people (i.e., experimenters), talking to self, listening to music, and looking at the road scene. The number of occurrences and the total duration of each NDRT recorded through an eye-tracker was used by the authors to distinguish participants: a “low activity” and a “high activity” groups were identified. The level of engagement in NDRT was associated with this classification. In fact, participants who had a high level of off-road gaze occurrences and duration was considered as highly engaged in the NDRT while the opposite was classified in the low engaged participants, corresponding to the “low activity” group. Regarding the activities observed, the most popular in all groups was to look at the road environment. Apart from this activity, younger participants principally used their electronic device or did some kind of grooming, whereas older drivers preferred to talk to the experimenters. Younger participants in the high activity group spent up five times more in doing a NDRT than those in the low activity group, and more than ten times more than older drivers. Driving data recorded were analysed in function of the different groups (i.e., younger vs. older, and low activity vs. high activity). Speed, steering wheel angle, response time from notification to driver’s first reaction, lateral lane position, throttle, and brake input were collected. The younger and high activity group had the highest speed after a takeover. No significant differences were found between the older high and low activity groups, except a tendency in braking. In fact, older drivers who engaged the most in NDRT tended to brake harder during a transition of control.

Five years ago, Mok *et al.* investigated the effects of distraction during transitions of control (Mok *et al.*, 2015a). They observed participants perform a regain of control after an automated driving session while they had to watch a video, presented as a passive distraction. Three levels of time were tested for transitions, i.e., two, five, and eight seconds. Each participant experienced one of

these time conditions. During the automated drive, participants successively watched two videos on a tablet. They had no specific instructions about its manipulation during transition of control. To measure participant engagement in the task, unexpected items were placed on road sides (e.g., a giant gorilla). In a post-simulation questionnaire, participants were asked to recall what they saw. Their performance to identify the items was used to evaluate task engagement: a participant who missed all the items was considered as highly engaged in the task. Driving behavioural data were recorded, including standard deviation of road offset (i.e., distance from the centreline of the road), standard deviation of steering wheel position, and deviation from a lane in curve. The main results concerned the minimum time to correctly regain control after a phase of automation. The authors noted that their results were close to some from a previous research where participants were not given any distraction during automation (Mok *et al.*, 2015b). Focusing on the transition phase and the driver needs at this moment, Mok *et al.* did not neglect the importance of driver cognitive state and addressed it through the question of task engagement and disengagement (Mok *et al.*, 2015a).

In their experiment described in Section 2.1, Wandtner *et al.* measured task engagement and disengagement through different variables (Wandtner, Schömig, *et al.*, 2018d). NDRTs were offered one after another during manual and automated driving. The number of accepted tasks during each session was recorded to assess drivers' engagement level in NDRT. The authors considered that participants who rejected tasks were more engaged in road supervision than in the NDRTs. Task interruption management was used to evaluate disengagement from the task when a takeover request appeared; disengagement was consequently considered higher when a task was cancelled. Such variables, related to task engagement and disengagement, were used to interpret takeover performance. Results showed a decrease of the performance under highly task engagement. Regarding disengagement, results showed a persistence in the task during takeover. The authors shaded this finding by the effect of money incentive and the simulated context that probably led to prioritise the task.

Miller *et al.* processed driver's eye and face behaviours to analyse drowsiness which is, according to their approach, negatively correlated to task engagement level (Miller *et al.*, 2015). In their simulator study described in section 2.1, they coded the number of yawning and eye-blinking duration, which were identified as markers of drowsiness. The results showed a significant difference of drowsiness markers between the supervising ADAS task and the two others (i.e.,

reading a book extract and watching a video on a tablet). Indeed, supervising ADAS led to much more eye closure and yawn, which was consistent with the preliminary hypothesis. No influence of the NDRT type was found in the case of critical control transition (i.e., when the takeover request appeared five seconds before the automated system deactivation) on reaction time or minimum headway distance.

In their experiment described in Section 2.2, Roche *et al.* recorded fixation durations on the road thanks to an eye-tracker. This variable was considered a robust indicator to measure allocation of attention resources. Results showed that participants' fixation durations decreased along a session. Visual NDRT was associated to fewer gazes on the road than the auditory NDRT. Results also showed that even after the TOR, there was still a difference on gaze behaviour in function of the NDRT modality. Indeed, after the TOR, when participants were engaged in a visual NDRT, their fixation duration to the road is still poorer than the auditory NDRT condition. Finally, the takeover request condition (auditory vs. visual-auditory) did not have an effect on fixation duration.

2. Subjective ratings

Zeeb *et al.* investigated the effects of NDRTs on drivers' distraction with four driving sessions ending by a takeover control after a phase of automation on a simulated highway (Zeeb *et al.*, 2016). Participants were instructed that the system would manage the entire vehicle function as long as it could stay on the same road lane; meaning that, when a lane change was required, the system would request drivers to take over. Among the four sessions, two ended by a critical scenario, and two by a non-critical situation. Two different groups of participants were defined, i.e., one without NDRT (control group), and another with the instruction to perform predefined NDRTs. The latter were asked to write emails, read news, and watch videos. An extra NDRT was used to complete automation phases for two longer scenarios, i.e., listening to music. To assess drivers' response, time from takeover request to first gaze at the road, to drivers' hands on the steering wheel, and to deactivate the system were recorded. These time responses were considered as indicators of drivers' distraction. No significant differences were found between distraction conditions on the times to hands on and to deactivate the system. Deviation from lane centre and lateral acceleration were used as takeover quality measures: video watching and news reading resulted in a larger deviation from lane centre, and news reading was also associated with larger lateral acceleration. Participants were invited to associate a subjective level of distraction (i.e., low, medium, high) for each NDRT.

Results indicated that writing emails was the more distracting task, followed by reading news and video watching, which was the opposite of what was expected from the takeover quality results.

Before testing the impact of NDRTs on driving performance in their second experiment presented in Section 2.2, Ko & Ji studied the differences between NDRT designs, especially their effects on attentional engagement factors (Ko & Ji, 2018). They asked participants to sit in a driving simulator and to perform different tasks without any driving simulation running. Their aim was to examine whether differences appeared between each task and each condition on perceived difficulty, rated workload, and flow experience. Participants performed two tasks, i.e., watching a video and reading an article, under three conditions (boredom, flow, and anxiety). A secondary two-back task was added to vary and control mental workload. NDRTs were performed on a tablet placed on the right side of the steering wheel. After each task, participants filled in the NASA-TLX questionnaire (Hart & Staveland, 1988), and the Flow Short Scale (FKS) which measures the perceived demand level of a task (Engeser & Rheinberg, 2008). Main results indicated that perceived difficulty was significantly different between each task and each condition. Reading task was rated higher than video watching, and the perceived demand level increased from boredom to anxiety. Flow experience provided a significant effect between experimental condition and task type, with the best flow experience under fit condition. Again, a significant effect was found on the mental workload for each task type and experimental condition. The watching task was rated lower significantly than the reading task, and it increased with the experimental condition from boredom to anxiety.

A relatively new study conducted by Lee *et al.* investigated the effects of the NDRT type on takeover quality after automated driving (S. C. Lee et al., 2020a). During automated driving, the participants experienced nine NDRTs (i.e., conversing with a passenger, listening to music, talking to their phone (handheld), watching a video on the centre console, reading a book, texting on a smartphone, operating the in-vehicle information system, playing games on a phone, and holding and drinking a beverage). A categorisation of NDRTs (i.e., two physical attributes, two cognitive attributes, and one visual attribute) was determined to analyse the effects of the NDRT type. Physical attributes referred to the place where the NDRT was held and to the number of hands required. Cognitive attributes referred to the dimensions used to perform the NDRT and to the cognitive load declared. Finally, the visual attribute corresponded to the video-coded gaze position

during NDRT. Cognitive load was used as a factor of NDRT differentiation. Classical takeover quality measures, like longitudinal and lateral data, were recorded after control transitions. The effects of each attribute were explored using aforementioned measures, as well as subjective ratings of cognitive load (in the case of cognitive attributes). A positive correlation was found between cognitive load level and the maximum longitudinal deceleration in the case of hazard avoidance. This means that participants who declared highest levels of cognitive load were also the ones who braked the most when they had to avoid a collision. The cognitive load also had an effect on distance and time to collision variables. By contrast, resource allocation had no effect on the takeover quality. The researchers concluded that the increase of cognitive load during NDRT was associated with a difficulty to perform lateral and longitudinal control during a takeover situation. They also deduced that physical and visual attributes were less important than cognitive ones regarding takeover control performance.

Subjective workload also brought interesting results in another research team's study (Wandtner, Schmidt, et al., 2018a). It was significantly different between each task, with lowest workload recorded under the auditory-vocal condition, and highest one under the visual-manual high workload condition. No effect of cognitive workload was found on the first response variables (e.g., hands-on time). On the contrary, an influence of both task modalities and mental workload was observed on time to brake. Indeed, participants braked stronger under visual-manual than auditory-visual conditions, and under visual-manual high workload than visual-manual task conditions. The authors specifically noted that high mental workload had no effect on first reactions, but on actions that needed higher cognitive processes, such as action selection and decision.

Wandtner *et al.*, also used subjective ratings as dependent variables in their second experiment (Wandtner, Schömig, et al., 2018a). The authors used the common NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) to evaluate the workload level associated with the NDRTs. They also asked participants to rate their subjective perception of the NDRTs levels of safety, and to classify the NDRTs in function of their level of disruption in the case of a takeover situation. Results confirmed the association between workload and an increase of cognitive dimensions, as the auditory tasks were associated with smaller scores than visual-manual tasks. The perceived safety level of each NDRT increased with the number of cognitive dimensions needed to get the task done. Participants

also declared the most complex (i.e., visual–manual handheld) NDRT as the most impairing under takeover situations.

IV. Discussion

1. Task Engagement: Manipulation and Measurement

The objective of this work was to propose a literature review of the existing studies dealing with non-driving-related tasks engagement, as well as its impact on taking over control of highly automated vehicles. More precisely, we attempted to better understand and explain how task engagement was manipulated and analysed in the literature. The complexity firstly lied in grouping together studies with close, or at least similar, exploration goals (i.e., around task engagement, NDRTs, and automation), in spite of the heterogeneity of the terms used (e.g., task engagement, task demand, cognitive load, and effort), and of the theoretical approaches. Among the selected studies, we noted that some authors (i.e., Section 2) designed specific experimental protocols to vary task engagement by the choice of activities to be carried out on board, with a view to analyse the effects of such variability. In this precise case, engagement was used as an independent variable. Other research teams (i.e., Section 3), on the other hand, preferred to use measures of task engagement through recognised factors (e.g., resource allocation, cognitive effort, and mental workload). Engagement, or its associated factors, were then used as dependent variables. Both approaches aimed to study differences between daily life activities carried out on board, and to look for correlations with driving behaviour when regaining control.

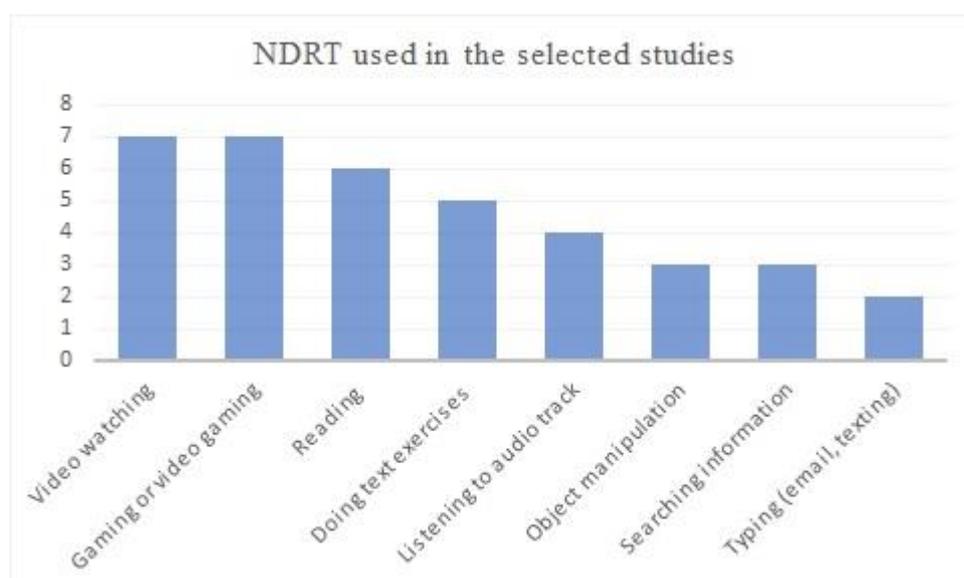


Figure 11: Illustration of the recurrence of the NDRTs used in the selected articles

Eight main tasks were identified within the articles studied, i.e., object manipulation, audio listening, video watching, gaming or video gaming, searching for information, typing, reading, and taking part in text exercises. Figure 3 illustrates the type and the occurrence of NDRTs used in the reviewed studies. We decided to distinguish classical reading activity to the reading activities with exercises because the cognitive dimensions involved were not the same, as demonstrated by Wickens' MRT (Wickens, 2002). Three activities stood out within the selected articles, i.e., reading (simply or as an exercise), video watching, and game playing.

Two main approaches were observed regarding studies varying engagement through their task. The first one focuses on generating differences by choosing particular tasks. Most of the authors postulated that there were differences between chosen tasks based on previous research on the same topic (i.e., studies on takeover performance after a period of highly automated driving, e.g., Young *et al.*, 2003; Llaneras *et al.*, 2013; Merat *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2015). Other studies (e.g., Borojeni *et al.*, 2018; Wandtner *et al.*, 2018b; Zeeb *et al.*, 2017) relied on the notion of task difficulty to yield variations, sometimes within a single NDRT. Generally, instructions were then more complex for the difficult version of the task, ranging from a version without instruction (e.g., watching a video), to a version with a particular instruction requiring textual or audio-visual data processing. The second approach identified was the reliance on cognitive models defining cognitive dimensions which create different levels of difficulty. The predominantly used model, when a model was cited, is Wickens' multiple resources theory (MRT) (Wickens *et al.*, 2002). This model was used to justify a manipulation of the cognitive load/workload, and of the difficulty generated by the task. Thus, by combining several dimensions (e.g., motor and visual dimensions (Borojeni *et al.*, 2018)), the research teams obtained different levels in the subjective evaluation of engagement factors (e.g., workload). The threaded cognition theory (Salvucci & Taatgen, 2008) appeared in one paper (i.e., Tanshi & Söffker, 2019) in order to justify an increase of the level of resources required between the different proposed versions of a reading task. It can be noted that the authors who used a cognitive theory (i.e., Wickens *et al.*, 2002, or Salvucci & Taatgen, 2008) to choose their activities all ended up with reading tasks.

Among the studies which chose task engagement as variable to be measured (i.e., Section 3), two main types of measurements were found. The first one corresponds to the way of managing the task with driving (i.e., autonomy supervision and/or transition), whereas the second one designates

participants' subjective assessment of their engagement, or of various factors of engagement (e.g., effort, estimated level of demand, distraction). Task performance was identified as another metric which we did not rank at the same level as the ones aforementioned, as its relevance in the cited research was only minor. Yet, task performance can be considered as an indicator of task engagement, even though it is not self-sufficient.

Task engagement is a state resulting from multiple factors, which are important to combine to best cover such a complex cognitive state. Control transition phases also comprise different stages which can be linked to sub-factors of task engagement, as shown in Figure 4. Figures 4 and 5 illustrate our identification and distinction of these phases, by associating to each of them their corresponding measurements. Existing approaches lack Such distinction is often lacking in current approaches to control transition (Dogan et al., 2017; Melcher et al., 2015; Walch et al., 2015).

2. Task Engagement in the Course of Control Transition

Figure 4 exposes three principal ways to address takeover. It starts with a techno-centric approach, the most common one nowadays, which mainly describes takeover according to a system's behaviour. Techno-centric studies clearly tend to separate delegation of control, and takeover alert. System deactivation then initiates the last phase, that is to say: manual driving. Starting from this techno-centric point of view, an approach by the driver's behaviour can be proposed. During driving delegation, drivers usually engage in NDRTs (D. R. Large et al., 2018; Pflöging et al., 2016). From takeover request, a greater complexity can be observed for the behaviour-centred approach. In fact, phases are not sequential but layered.

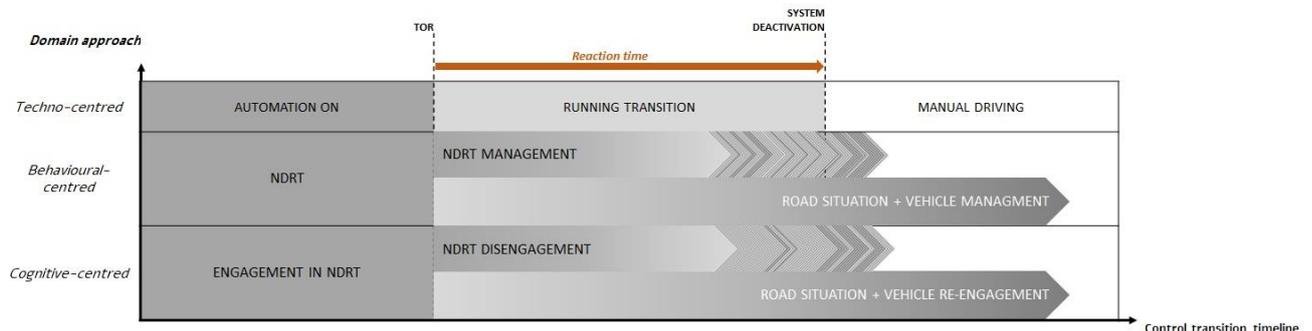


Figure 12: Illustration of different ways to investigate a control transition, from system to driver

Stopping the NDRT does not necessarily precede regaining control of the vehicle; these can overlap, which creates the complexity and multifactorial nature of the takeover. From a safety-centred point of view, a quick and total abandonment of the NDRT in favour of regaining total

control of the vehicle is expected. Nonetheless, the human factor with its wide variability has to be considered. Using a cognitive-centred approach, we attempted to identify the mechanisms of task engagement involved from these observable behaviours.

From such a cognitive-centred point of view, Figure 5 illustrates a repartition of measurements found in the reviewed articles that fit each phase of a control transition. A control transition phase, i.e., from automation to driver, can be considered both multidimensional and multiphasic. It is indeed multidimensional because it simultaneously calls on several functions, such as auditory perception (e.g., alarms), visual perception, motor reaction, and attention. Control transition can also be considered multiphasic by distinguishing three main phases, as follows. The first one corresponds to the pre-alarm stage, during which the NDRT is performed under automated driving conditions. This phase is important in the study of control transition as it appears necessary to know the driver's state at the moment of a takeover request. Thanks to our literature review, we assigned three main measures to this phase. The first one includes subjective variables about the driver's cognitive state, collected, or not, through standardised questionnaires (e.g., NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)), such as mental workload, interest in the task, and experienced difficulty. Gaze behaviour represents the second measure, as it was identified as a variable used to assess driver's engagement in the NDRT, particularly using the fixations (i.e., number and time) distribution between road and task. Finally, even though it was not clearly identified as an engagement variable, task performance was sometimes used by the authors, which also appears as an interesting indicator. On the contrary, performance measurement of the driving task was a central component of takeover assessment. According to the techno-centric approach, we noticed a transition phase between takeover request and deactivation of the automated system. From a cognitive perspective, this phase is composed of two interlocking stages of task engagement, i.e., a disengagement of the activity and a re-engagement in the road situation and driving, lasting until the final phase. A mobilisation of several cognitive and motor skills thus takes place in a very short period of time. We consequently identified three main variables as well as an ancillary variable in the experiments studied. A first type of measurement groups together all the variables recording the way the NDRT is handled from the takeover request. Some authors (e.g., Wandtner *et al.*, 2018a) chose to code the NDRT management differences, e.g., “completely abandoned”, “paused before stopping”, “continued in parallel”. The notion of interruptibility level of the task appears as an indicator of the driver's disengagement from the NDRT when a takeover was requested. It can be measured in

several ways, yet the goal always seems to be the same, i.e., to evaluate to what extent the driver decreases the use of their task resources to the NDRT. We also assigned several subjective evaluations to this phase, such as the difficulty experienced to perform the takeover, or the distraction generated by the NDRT, compared to the driving task. Note subjective evaluations could relate to both disengagement and re-engagement in the task. Gaze behaviour (i.e., fixation duration and number of glances to the mirrors) was also used to determine the driver's strategy to regain control.

In the literature, reaction time is commonly used as an indicator of takeover performance. However, according to the multiplicity of involved mechanisms as we demonstrated in this article, this metric needs to be nuanced, as different types of reaction times can be identified. For instance, several information processing and decision-taking processes are involved behind considering the time to redirect gaze towards the road and the time to effectively act on the steering wheel. This could lead to attributing different meanings to similar values of these two types of reaction times. The time to redirect gaze towards the driving environment could be considered as a reference to measure the first instants of NDRT disengagement. On another side, the time to effectively act on the vehicle commands refers more to the first instants of driving task reengagement. Even with this subtlety, we argue that reaction time cannot be considered alone to provide a detailed insight on the ongoing task transition process. Thus, it should be at least combined with the other driving performance indicators. It seems that takeover quality indicators are considered as key information to assess re-engagement in driving. Even though they provide reliable and useful information to assess driving performance and fitness of behavior, such variable appears to be insufficient to provide detailed explanation in case of takeover failure. Consequently, considering the driver's cognitive state should be central for a better understanding of the transition steps during the takeover process. As suggested in our approach, NDRT disengagement, road situation, and vehicle control re-engagement appear to be more complex and entangled than simple on/off transitions. As illustrated in several studies, it frequently happens that the driver returns back to the NDRT after at least partially regaining manual control of the vehicle (e.g., Feldhütter *et al.*, 2017). Such phenomenon could be explained with the help of deeper assessment about cognitive processes and situation awareness rebuilding states. Therefore, a better consideration for temporal lability of resources allocation to the two considered tasks (i.e., NDRT and driving) through more extensive probing of driver cognition should become the new gold standard in takeover studies.

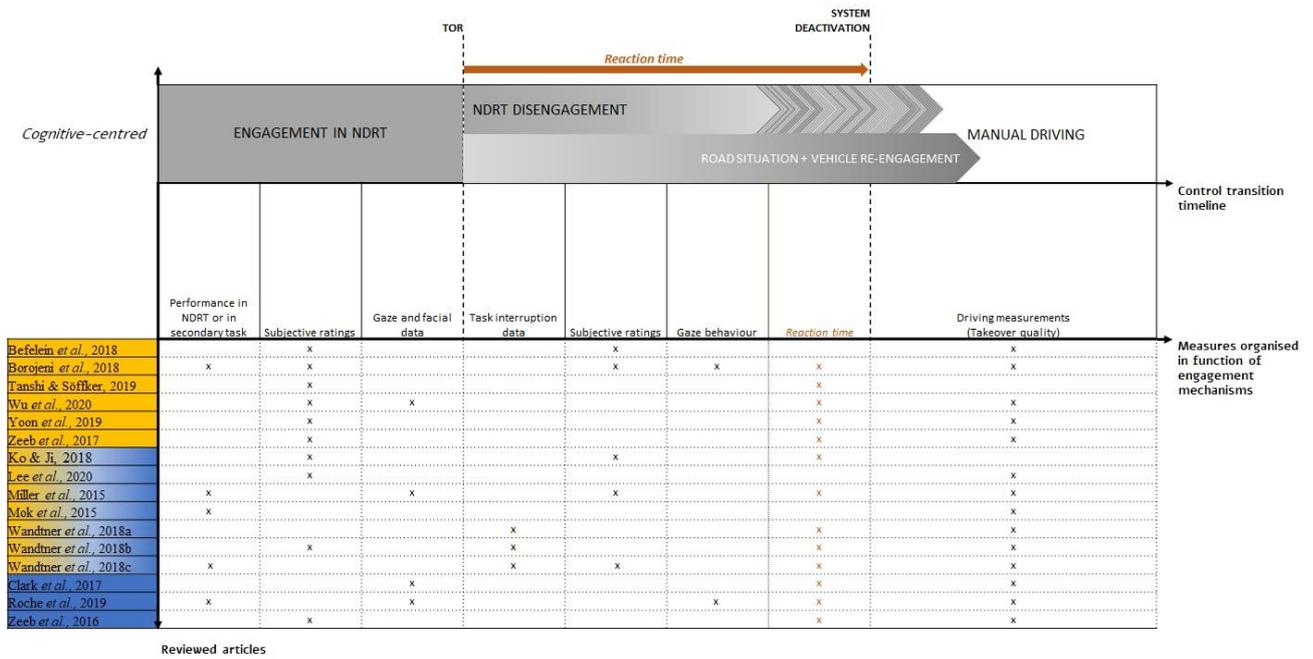


Figure 13: Illustration of the attribution of reviewed articles measurements to each control phase according to engagement mechanisms

V. Conclusion

In this paper, we presented a literature review on existing research works studying the effects of non-driving related tasks (NDRTs) on task engagement under highly automated driving (i.e., SAE levels 3 and 4). More specifically, we analysed how engagement in NDRT was manipulated and/or measured in the specific context of control transition, i.e., from automated driving to manual takeover. Based on this work, we proposed a novel approach of the transition of control, more centred on engagement mechanisms, which better considers the cognitive aspects of such a complex action, compared to a more traditional techno-centric perspective. Indeed, our literature review revealed the lack of ability of the techno-centric approach to properly grasp the subtlety of the cognitive engagement-disengagement processes, especially the fact that disengagement from NDRT and reengagement in driving is more of a continuum than a simple on-off switch. Our cognitive-centred approach aims to compensate for this flaw. More particularly, it postulates that transition phases cannot only be considered through a timing aspect. We demonstrated that the time between two behaviours could not be used as the only measure of the cognitive processes in course. To this end, a better consideration of disengagement and reengagement processes is the clue to understand the driver ability to takeover. Consequently, we came up with a combination of the different cognitive states involved, and the many diverse measures of engagement observed in our review. We believe that this clarification of the stages of task engagement state and of its associated

metrics allows for a more complete and accurate approach of control transition from automation to human. We further suggest that the cognitive engagement-centred view developed in this work serves as a methodological guide for future research about engagement in control transitions. This would allow for more accurate findings about the takeover inner dynamics.

VI. Conflict of Interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

VII. Author Contributions

MJ and LL contributed to the design of the literature review. TB, HT and CML supervised the research project. MJ wrote the first draft of the manuscript. LL and JD wrote sections of the manuscript. All the authors contributed to manuscript revision; read, and approved the submission.

VIII. References

Bainbridge, L. (1987). Ironies of Automation. *New Technol. Hum. Error* 15, 271–283. doi:10.1016/S1474-6670(17)62897-0.

Befelein, D., Boschet, J., and Neukum, A. (2018). Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving. in 6th international conference on driver distraction and inattention, Gothenburg, Sweden. Retrieved from: <http://ddi2018.org/wp-content/uploads/2018/10/S>.

Beukel, A. P. van den, and Voort, M. C. van der (2013). 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), 2000–2005. doi:10.1109/ITSC.2013.6728523.

Borojeni, S. S., Weber, L., Heuten, W., and Boll, S. (2018). From Reading to Driving: Priming Mobile Users for Take-over Situations in Highly Automated Driving. in Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services MobileHCI '18. (New York, NY, USA: ACM), 14:1-14:12. doi:10.1145/3229434.3229464.

Carsten, O., Lai, F., Barnard, Y., Jamson, A., and Merat, N. (2012). Control Task Substitution in Semiautomated Driving: Does It Matter What Aspects Are Automated? *Hum. Factors* 54, 747–61. doi:10.1177/0018720812460246.

Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B., and Feng, J. (2017). Performance in Takeover and Characteristics of Non-driving Related Tasks during Highly Automated Driving in Younger and Older Drivers. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 61, 37–41. doi:10.1177/1541931213601504.

Dingus, T., Klauer, S., Lewis, V., Petersen, A., Lee, S., Sudweeks, J., et al. (2006). The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment.

Dogan, E., Rahal, M.-C., Deborne, R., Delhomme, P., Kemeny, A., and Perrin, J. (2017). Transition of control in a partially automated vehicle: Effects of anticipation and non-driving-related task involvement. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 46, 205–215. doi:10.1016/j.trf.2017.01.012.

Endsley, M., and Kaber, D. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics* 42, 462–92. doi:10.1080/001401399185595.

Engeser, S., and Rheinberg, F. (2008). Flow, performance and moderators of challenge-skill balance. *Motiv. Emot.* 32, 158–172. doi:10.1007/s11031-008-9102-4.

Eriksson, A., and Stanton, N. A. (2017). Takeover Time in Highly Automated Vehicles: Noncritical Transitions to and From Manual Control. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 59, 689–705. doi:10.1177/0018720816685832.

Feldhütter, A., Gold, C., Schneider, S., and Bengler, K. (2017). “How the Duration of Automated Driving Influences Take-Over Performance and Gaze Behavior,” in, 309–318. doi:10.1007/978-3-662-53305-5_22.

Gold, C., Körber, M., Lechner, D., and Bengler, K. (2016). Taking Over Control From Highly Automated Vehicles in Complex Traffic Situations: The Role of Traffic Density. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 58, 642–652. doi:10.1177/0018720816634226.

Gold, C., Lorenz, L., Damböck, D., and Bengler, K. (2013). Partially Automated Driving as a Fallback Level of High Automation. *6 Tag. Fahrerassistenz Weg Zum Autom. Fahr.*

Hart, S. G., and Staveland, L. E. (1988). “Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research,” in *Advances in Psychology Human Mental Workload.*,

eds. P. A. Hancock and N. Meshkati (North-Holland), 139–183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9.

Kim, I.-H., Kim, J.-W., Haufe, S., and Lee, S.-W. (2015). Detection of braking intention in diverse situations during simulated driving based on EEG feature combination. *J. Neural Eng.* 12, 016001. doi:10.1088/1741-2560/12/1/016001.

Ko, S. M., and Ji, Y. G. (2018). How we can measure the non-driving-task engagement in automated driving: Comparing flow experience and workload. *Appl. Ergon.* 67, 237–245. doi:10.1016/j.apergo.2017.10.009.

Large, D. R., Burnett, G., Morris, A., Muthumani, A., and Matthias, R. (2018). A Longitudinal Simulator Study to Explore Drivers' Behaviour During Highly-Automated Driving. in *Advances in Human Aspects of Transportation Advances in Intelligent Systems and Computing.*, ed. N. A. Stanton (Cham: Springer International Publishing), 583–594. doi:10.1007/978-3-319-60441-1_57.

Lee, J. D. (2014). Dynamics of Driver Distraction: The process of engaging and disengaging. *Ann. Adv. Automot. Med. Assoc. Adv. Automot. Med. Annu. Sci. Conf.* 58, 24–32.

Lee, S. C., Yoon, S. H., and Ji, Y. G. (2020). Effects of Non-Driving-Related Task Attributes on Takeover Quality in Automated Vehicles. *Int. J. Human-Computer Interact.* 0, 1–9. doi:10.1080/10447318.2020.1815361.

Llaneras, R., Salinger, J., and Green, C. (2013). Human Factors Issues Associated with Limited Ability Autonomous Driving Systems: Drivers' Allocation of Visual Attention to the Forward Roadway. *Driv. Assess. Conf.*, 92–98.

Marberger, C., Mielenz, H., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bengler, K., and Wandtner, B. (2018). “Understanding and Applying the Concept of ‘Driver Availability’ in Automated Driving,” in *Advances in Human Aspects of Transportation*, ed. N. A. Stanton (Cham: Springer International Publishing), 595–605. doi:10.1007/978-3-319-60441-1_58.

Matthews, G., Warm, J. S., Reinerman, L. E., Langheim, L. K., and Saxby, D. J. (2010). “Task engagement, attention, and executive control,” in *Handbook of individual differences in cognition: Attention, memory, and executive control* The Springer series on human exceptionalities. (New

York, NY, US: Springer Science + Business Media), 205–230. doi:10.1007/978-1-4419-1210-7_13.

Melcher, V., Rauh, S., Diederichs, F., Widloither, H., and Bauer, W. (2015). Take-Over Requests for Automated Driving. *Procedia Manuf.* 3, 2867–2873. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.788.

Merat, N., Jamson, A., Lai, F., and Carsten, O. (2012). Highly Automated Driving, Secondary Task Performance, and Driver State. *Hum. Factors* 54, 762–771. doi:10.1177/0018720812442087.

Miller, D., Sun, A., Johns, M., Ive, H., Sirkin, D., Aich, S., et al. (2015). Distraction Becomes Engagement in Automated Driving. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 59, 1676–1680. doi:10.1177/1541931215591362.

Mok, B., Johns, M., Miller, D., and Ju, W. (2017). Tunneled in: Drivers with active secondary tasks need more time to transition from automation. in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (ACM)*, 2840–2844.

Mok, B. K., Johns, M., Lee, K. J., Ive, H. P., Miller, D., and Ju, W. (2015). Timing of unstructured transitions of control in automated driving. in *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1167–1172. doi:10.1109/IVS.2015.7225841.

Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K., and Neukum, A. (2018). A Review of Non-driving-related Tasks Used in Studies on Automated Driving. in *Advances in Human Aspects of Transportation Advances in Intelligent Systems and Computing.*, ed. N. A. Stanton (Springer International Publishing), 525–537.

Naujoks, F., Purucker, C., and Neukum, A. (2016). Secondary task engagement and vehicle automation – Comparing the effects of different automation levels in an on-road experiment. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 38, 67–82. doi:10.1016/j.trf.2016.01.011.

Neubauer, C., Matthews, G., and Saxby, D. (2012). The Effects of Cell Phone Use and Automation on Driver Performance and Subjective State in Simulated Driving. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 56, 1987–1991. doi:10.1177/1071181312561415.

Park, J., Jung, E. S., and Im, Y. (2019). 2H1-6 The Effect of Driver Engagement in Autonomous Driving based on Flow Experience. *Jpn. J. Ergon.* 55, 2H1-6-2H1-6. doi:10.5100/jje.55.2H1-6.

Pashler, H., Johnston, J. C., and Ruthruff, E. (2001). Attention and Performance. *Annu. Rev. Psychol.* 52, 629–651. doi:10.1146/annurev.psych.52.1.629.

Pfleging, B., Rang, M., and Broy, N. (2016). Investigating User Needs for Non-driving-related Activities During Automated Driving. in *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia MUM '16*. (New York, NY, USA: ACM), 91–99. doi:10.1145/3012709.3012735.

Pohl, H., and Murray-Smith, R. (2013). “Focused and casual interactions: allowing users to vary their level of engagement,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (New York, NY, USA: Association for Computing Machinery), 2223–2232. Available at: <https://doi.org/10.1145/2470654.2481307> [Accessed January 29, 2021].

Roche, F., Somieski, A., and Brandenburg, S. (2019). Behavioral Changes to Repeated Takeovers in Highly Automated Driving: Effects of the Takeover-Request Design and the Nondriving-Related Task Modality. *Hum. Factors* 61, 839–849. doi:10.1177/0018720818814963.

Salvucci, D. D., and Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychol. Rev.* 115, 101–130. doi:10.1037/0033-295X.115.1.101.

Salvucci, D. D., Taatgen, N. A., and Borst, J. P. (2009). Toward a Unified Theory of the Multitasking Continuum: From Concurrent Performance to Task Switching, Interruption, and Resumption. 10.

Shahid, A., Wilkinson, K., Marcu, S., and Shapiro, C. M. (2012). “Karolinska Sleepiness Scale (KSS),” in *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*, eds. A. Shahid, K. Wilkinson, S. Marcu, and C. M. Shapiro (New York, NY: Springer), 209–210. doi:10.1007/978-1-4419-9893-4_47.

Shinar, D., Tractinsky, N., and Compton, R. (2005). Effects of practice, age, and task demands, on interference from a phone task while driving. *Accid. Anal. Prev.* 37, 315–26. doi:10.1016/j.aap.2004.09.007.

Stanton, N. A., and Young, M. S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics* 41, 1014–1028. doi:10.1080/001401398186568.

Stanton, N., and Young, M. (2003). Giving ergonomics away? The application of ergonomics methods by novices. *Appl. Ergon.* 34, 479–90. doi:10.1016/S0003-6870(03)00067-X.

Strand, N. (2014). When driving automation fails: drivers' experiences and interactions. *Doktorsavhandlingar Vid Chalmers Tek. Högsk. Ny Ser.* Available at: <https://trid.trb.org/view/1367603> [Accessed January 29, 2021].

Tanshi, F., and Söffker, D. (2019). Modeling of takeover variables with respect to driver situation awareness and workload for intelligent driver assistance. in *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1667–1672. doi:10.1109/IVS.2019.8814045.

Taylor, R. M. (1990). Situational awareness rating technique (SART): the development of a tool for aircrew systems design.

Walch, M., Lange, K., Baumann, M., and Weber, M. (2015). Autonomous Driving: Investigating the Feasibility of Car-driver Handover Assistance. in *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications AutomotiveUI '15.* (New York, NY, USA: ACM), 11–18. doi:10.1145/2799250.2799268.

Wandtner, B., Schmidt, G., Schoemig, N., and Kunde, W. (2018a). Non-driving related tasks in highly automated driving - Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance. in *AmE 2018 - Automotive meets Electronics; 9th GMM-Symposium*, 1–6.

Wandtner, B., Schömig, N., and Schmidt, G. (2018b). Effects of Non-Driving Related Task Modalities on Takeover Performance in Highly Automated Driving: *Hum. Factors*. doi:10.1177/0018720818768199.

Wandtner, B., Schömig, N., and Schmidt, G. (2018c). Secondary task engagement and disengagement in the context of highly automated driving. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 58, 253–263. doi:10.1016/j.trf.2018.06.001.

Wester, A. E., Böcker, K., Volkerts, E., Verster, J. C., and Kenemans, J. L. (2008). Event-related potentials and secondary task performance during simulated driving. *Accid. Anal. Prev.* 40, 1–7. doi:10.1016/j.aap.2007.02.014.

Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theor. Issues Ergon. Sci.* 3, 159–177.

Wu, Y., Kihara, K., Hasegawa, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., et al. (2020). Age-related differences in effects of non-driving related tasks on takeover performance in automated driving. *J. Safety Res.* 72, 231–238. doi:10.1016/j.jsr.2019.12.019.

Yoon, S. H., and Ji, Y. G. (2019). Non-driving-related tasks, workload, and takeover performance in highly automated driving contexts. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 60, 620–631. doi:10.1016/j.trf.2018.11.015.

Young, M. (2010). Human Factors of Visual and Cognitive Performance in Driving. *Ergonomics* 53, 444–5. doi:10.1080/00140130903494785.

Young, M. S., and Stanton, N. A. (2002). Malleable Attentional Resources Theory: A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance. *Hum. Factors* 44, 365–375. doi:10.1518/0018720024497709.

Zeeb, K., Buchner, A., and 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. *Accid. Anal. Prev.* 92, 230–239. doi:10.1016/j.aap.2016.04.002.

Zeeb, K., Härtel, M., Buchner, A., and Schrauf, M. (2017). Why is steering not the same as braking? The impact of non-driving related tasks on lateral and longitudinal driver interventions during conditionally automated driving. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 50, 65–79. doi:10.1016/j.trf.2017.07.008.

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., and Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 64, 285–307. doi:10.1016/j.trf.2019.04.020.

3. Tables

Table 1: Overview of the repartition applied to the reviewed articles

Source article	Engagement as IV	Engagement as DV
Befelein et al., 2018	Cognitive approach	
Borojeni et al., 2018	Task-driven approach	
Clark et al., 2017		Task-related measurements
Ko & Ji, 2018	Task-driven approach Cognitive approach	Task-related measurements Subjective ratings
Lee et al., 2020		Subjective ratings
Miller et al., 2015	Task-driven approach	Task-related measurements
Mok et al., 2015a		Task-related measurements
Lee et al., 2020		Subjective ratings
Roche et al., 2019	Cognitive approach	Task-related measurements
Tanshi & Söffker, 2019	Cognitive approach	
Wandtner et al., 2018a	Cognitive approach	Task-related measurements Subjective ratings
Wandtner et al., 2018b	Cognitive approach	Task-related measurements Subjective ratings
Wandtner et al., 2018c	Task-driven approach	Task-related measurements
Yoon & Ji 2019	Task-driven approach	
Zeeb et al., 2016		Subjective ratings
Zeeb et al., 2017	Task-driven approach	

Legend: IV (Independent Variable), DV (Dependent Variable).

Table 2: Studies using the manipulation of engagement as independent variable

Source article	Scenario	NDRT	Experimental design	Participants	Engagement (IV)	Objective measurement	Subjective measurement	Main findings
Befelein et al., 2018 	Highway, 120 km/h, emergency TO, 9 seconds to TO	Motor, video game (Tetris)	2 test motivations, 2 interruption effort difficulties, 8 TO situations	53 participants (M = 32.3, SD = 9.7)	Motivation, Interruption effort (Interruption effort, Pfleger et al., 2016)	Reaction time	Takeover performance, situation criticality, motivation	No effect of motivation condition, significant impact of task interruption effort on reaction times
Boroieni et al., 2018 	Highway, 100 km/h, around 9 seconds to TO	Complex reading span task	2 levels of engagement, 2 types of information at TO request	18 participants (M = 27.9, SD = 5.0)	Task difficulty to create different levels of engagement	Reaction time, TTC, collisions, alternative manoeuvres, gaze behaviour, task performance	Workload (NASA-TLX), subjective performance in takeover and NDRT	Level of engagement had no impact on TO response
Ko & Ji, 2018 	80 km/h, no information on TO situation	Video watching, article reading	6 NDRT conditions, random	32 participants (M = 28.2, SD = 4.4)	2 NDRT at 3 different demand levels (Flow experience, Csikszentmihalyi, 1975)	Reaction time: gaze-on time, road-fixation time, hands-on time, takeover time	Workload (NASA-TLX), Perceived demand level, FKS	Longest reaction time for highest flow score, under mid-skill demand level
Miller et al., 2015 	Rural road, 20s or 5s to TO	Supervising the ADAS, reading, movie viewing	3 NDRT, 3 TOR information location, 2 handoff stages	48 participants (M = 20.85, SD = 1.32)	Different type of task to create different engagement levels	Drowsiness markers (yawning, eye closure duration), reaction time, minimum distance to leading object	Post-drive questionnaire on NDRT information (for video and reading)	No influence of NDRT type on critical control transition performance, more drowsiness signs in supervising ADAS NDRT than media-type NDRT
Roche et al., 2019 	Highway, 100 km/h, 8.6s to TO	Auditory or visual version of a questions-and-answers-game	2 takeover request design and 2 NDRT modality	40 participants (M = 27, SD = 7)	NDRT Modality: auditory versus visual (same task) (Wickens' MRT, 2002)	TO times, lateral data and acceleration data, road and NDRT gazes; Task performance	Level of workload associated to each TO situation	Fewer gazes on the road after visual NDR than auditory NDRT.
Tanshi & Söffker, 2019 	Highway, varied speed and context for TO situations (from 50 to 130km/h)	Reading, proofreading, proofreading aloud	3 NDRTs, 4 scenarios, 2 complexity levels	36 participants (M = 24.7, SD = 4.9)	Multiplication of cognitive dimensions to create levels of engagement (Threaded Cognition Theory, Salvucci & Taatgen, 2008)	Takeover time	SART, workload (NASA-TLX)	“Dynamics” have a stronger effect on TO time, situation awareness, and workload than additional interacting agents

Wandtner <i>et al.</i> , 2018a	Two-lane motorway, 120km/h, 6s or 8s to TO	Transcription of sentences (auditory-vocal, visual-manual, visual-manual)	3 NDRT, 2 time-budgets to do the TO	14 participants (M = 32.0, SD = 10.6)	Task difficulty, motivation, task modality (Wickens' MRT, 2002)	Reaction time, TO quality	TO criticality	Influence of task modalities and mental workload on time to brake, high mental workload had no effect on first reactions but on actions needing higher processes
Wandtner <i>et al.</i> , 2018b	Two-lane motorway, 120km/h, 6s to TO	Repetition of sentences: auditory-vocal, visual-vocal, visual-manual mounted, and visual-manual handheld	5 NDRT, 2 TO designs	30 participants (M = 29.17, SD = 6.38)	Encouraging motivation by instruction) and with monetary incentive, task modality for engagement variations (Wickens' MRT, 2002)	Reaction time, TO quality, TTC, number of collisions, deviation of deceleration	Subjective perception of NDRT level of safety, workload (NASA-TLX)	Increasing task modality complexity led to longer TO reactions in critical situations, task modality has an influence on TO performance
Wandtner <i>et al.</i> , 2018c	Two-lane highway, 120km/h, 8s to TO	Visual-manual texting task (transcription a text)	1 NDRT, 2 complexity levels, 1 baseline (no task), 2 HMI (predictive vs. basic)	20 participants (M = 27.6, SD = 6.2)	Task complexity/difficulty	Reaction time, variability of lateral position, lane exceedances, maximum accelerations	Help given by HMI, drivers' strategy	Even when aware of imminent TO, participants started a NDRT: phenomenon of task perseverance
Wu <i>et al.</i> , 2020	Two-lane motorway, 60 km/h, 6s to TO	None, video and video + game (Tetris)	3 NDRT and 3 age groups	36 participants, (younger: M = 24.6, SD = 4.9; middle-aged: M = 43.9, SD = 4.5; older: M = 64.3, SD = 5.6)	From no NDRT to mixed NDRT, increase of cognitive load	Reaction time, steering angle variability, eyeblink duration	Karolinka Sleepiness Scale (drowsiness)	Benefit of NDRT is negatively correlated with age
Yoon & Ji 2019	60 km/h, non-emergency situation (lane change)	Interaction with console, game playing, video watching	5 NDRT, 2 TO requests	27 participants (M = 29.1, SD = 3,78)	Motivation to create different levels of engagement for all	Visual performance (gaze-on time, fixation time), physical performance (hands on time), takeover performance (total time)	Workload (NASA-TLX)	Significant effects of NDRTs on takeover performance, negative correlations between video watching or smartphone interaction and cognitive workload
Zeeb <i>et al.</i> , 2017	Highway, 130 km/h, 3,5s to TO	Reading, proofreading	2 NDRT, 3 TO	95 participants (M = 38)	Task difficulty to create different levels of engagement, motivation to create different levels of engagement by group	Reaction time, takeover quality	Subjective rating of task difficulty	Manual task prolonged reaction times and deteriorate TO quality, effects of cognitive task load dependent on type of intervention

Legend: ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems); FKS (Flow-Kurzskala); HMI (Human-Machine Interface); M (Mean age of participants); NASA-TLX (NASA Task Load Index); NDRT (Non-Driving-Related Task); s (seconds); SART (Situation Awareness Rating Technique); SD (Standard deviation); TO (Takeover); TOR (Takeover Request); TTC (Time To Collision).

Task-driven approach

Cognitive approach

Table 3: Measures of task engagement as dependent variable

Source article	Scenario	NDRT	Experimental design	Participants	Engagement (DV)	Objective measurement	Main findings
Clark <i>et al.</i> , 2017 	Highway, 72 km/h, 7.5s or 4.5s to <u>TO</u>	Reaching for object, grooming, electronic device use, horseplay game, communicating with experimenter, communicating with themselves, listening to music	Free NDRT choice during automated drives, two age groups and two TO time	18 older participants (M = 70.2), 17 younger participants (M = 19.9)	Number of occurrences and total duration for each NDRT	Response time from notification, average speed during TO, shift between on and off the road during automated drives	Trend of harder breaking for older group
Ko <i>et al.</i> , 2018  	80 km/h, no information on TO situation	Video watching, reading an article	2 NDRTs at 3 different demand levels	32 participants (M = 28.2)	Workload (NASA-TLX), Perceived demand level, Flow experience (FKS)	Reaction time: gaze-on time, road-fixation time, hands-on time, takeover time	Longest reaction time for highest flow score, under mid-skill demand level
Lee <i>et al.</i> , 2020 	Manual driving on 1,5 km, 5 min automated driving, TO when construction site	Motor, audio listening, game/interaction, video watching, texting, conversing, reading a book, manipulating GPS, holding and drinking beverage	9 NDRT during automated driving and one control group without NDRT	30 participants (M = 28.9, SD = 4.2)	Subjective engagement and cognitive load	Takeover quality	High cognitive load correlated to strongest deceleration to avoid collision
Miller <i>et al.</i> , 2015 	Rural road, 20s or 5s to <u>TO</u>	Supervising the ADAS, reading, movie viewing	3 NDRT, 3 TOR information location, 2 handoff stages	48 participants (M = 20.85, SD = 1.32)	Level of drowsiness during NDRT, post-drive questionnaire to measure each NDRT engagement	Reaction time, minimum distance to leading object	No influence of NDRT type on critical control transition performance, more drowsiness signs in supervising ADAS NDRT than media-type NDRT
Mok <i>et al.</i> , 2015a 	Highway, 72 km/h, 2s, 5s or 8s to <u>TO</u>	Video watching	1 NDRT, 3 TO time	30 participants (M = 21.67, SD = 2.76)	Secondary task performance	Takeover quality	Driving performance data in TO are close to previous study which was without NDRT (Mok <i>et al.</i> , 2015b)
Roche <i>et al.</i> , 2019 	Highway, 100 km/h, 8.6s to <u>TO</u>	Auditory or visual version of a questions-and-answers-game	2 takeover request design and 2 NDRT modality	40 participants (M = 27, SD = 7)	number of answered questions to the NDRT game and fixation duration on road	TO times, lateral data and acceleration data, road	Fewer gazes on the road after visual NDR than auditory NDRT.
Wandtner <i>et al.</i> , 2018a  	Two-lane motorway, 120 km/h, 6s or 8s to <u>TO</u>	Transcription of sentences (auditory-vocal, visual-manual, visual-manual)	3 NDRT, 2 time-budgets to do the TO	14 participants (M = 32.0, SD = 10.6)	Tablet manipulation during TO, driving quality measurement	Reaction time, TO quality	High mental workload associated to high cognitive processes

<p>Wandtner <i>et al.</i>, 2018b</p>  	Two-lane motorway, 120km/h, 6s to TO	Repetition of sentences: auditory-vocal, visual-vocal, visual-manual mounted, and visual-manual handheld	5 NDRT, 2 TO designs	30 participants (M = 29.17, SD = 6.38)	Task interruption, workload	Reaction time, TO quality, TTC, number of collisions, deviation of deceleration	Task demand associated with high level of interruption
<p>Wandtner <i>et al.</i>, 2018c</p> 	Two-lane highway, 120km/h, 8s to TO	Visual-manual texting task (transcription a text)	1 NDRT, 2 complexity levels, 1 baseline (no task), 2 HMI (predictive vs. basic)	20 participants (M = 27.6, SD = 6.2)	Task management, number of accepted tasks, perseveration in task when TO,	Reaction time, variability of lateral position, lane exceedances, maximum accelerations	Self- regulation strategies emerged with predictive HMI, perseveration in task when engaged, significant effect of task engagement on SDLP and percentage of lane exceedances
<p>Zeeb <i>et al.</i>, 2016</p> 	Highway, 80 or 120 km/h, 2.5s, 4s or 10s to TO	Video watching, texting, emailing	3 NDRT, 4 scenarios (2 critical, 2 non-critical)	79 participants (M = 40)	Distraction (subjective rating)	Time to eyes on, time to hands on, to deactivate system, SDLP, acceleration, success/failure	No influence of engagement in NDRT on time responses but on takeover quality (little)

Legend: ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems); FKS (Flow-Kurzskala); HMI (Human-Machine Interface); M (Mean age of participants); NASA-TLX (NASA Task Load Index); NDRT (Non-Driving-Related Task); s (seconds); SD (Standard deviation); SDLP (Standard Lateral Position); TO (Takeover); TOR (Takeover Request); TTC (Time To Collision).

Task-related measurements

Subjective ratings

IV. Méthodologie

Après la présentation du cadre théorique dans lequel s'inscrivent ces travaux, les deux prochains chapitres présentent la construction puis la réalisation de la partie expérimentale de cette thèse jusqu'aux résultats obtenus. Cette partie expérimentale comprend deux volets distincts faisant chacun l'objet d'un sous chapitre (IV.A et IV.B).

A. Problématique

Le sujet d'intérêt du travail expérimental présenté ci-après est de proposer une analyse et une compréhension plus approfondies du rôle des mécanismes d'engagement et désengagement d'une tâche dans la réalisation d'une transition de contrôle entre un véhicule hautement automatisé et un conducteur lancé jusque-là dans des activités non relatives à la conduite. Le cadre théorique de ce travail expérimental a été construit autour de l'étude de l'implication des mécanismes d'engagement, de désengagement puis de réengagement dans cette action, déterminants de l'état cognitif dans lequel se trouvera le conducteur lorsqu'il devra effectuer la reprise de contrôle de son véhicule (Miller et al., 2015). Notre thèse met en avant le caractère progressif d'une transition de contrôle du point de vue de la cognition, contrairement à la description plus classique et techno-centrée existante. En effet, dans les approches de la littérature scientifique actuelle s'intéressant à la conduite hautement automatisée ont majoritairement comme point de départ les changements d'états du système. Le conducteur fait généralement face à une situation routière critique voire très critique, pour laquelle il devra apporter une réponse en quelques secondes afin d'éviter l'accident fatal. Avant cet événement, il aura été plongé dans une ou plusieurs TVB qui lui aura demandé toute son attention. De la même manière que le modèle expérimental utilisé est souvent le même, les analyses effectuées pour évaluer la performance du conducteur à reprendre le contrôle du véhicule après une phase d'inattention sont également récurrentes. Il y a d'abord les performances de temps qui renseignent sur le temps que le conducteur a mis pour réagir à la demande de reprise en main initiée par le système. Ces données déjà nombreuses dans la littérature ont fait l'objet d'une méta-analyse très complète (Zhang et al., 2019a). Il s'agit du temps de pose des mains sur le

volant, du temps que le conducteur a mis pour poser son regard sur la route ou encore du temps qu'il a mis pour actionner la bonne pédale (frein ou accélérateur en fonction de la situation). Dans leur méta-analyse, Zhang *et al.* ont démontré que les temps les plus courts de reprise en main étaient notamment associés à des scénarios sans TVB visuelle. En plus de ces mesures de temps, des mesures dites qualitatives sont réalisées. Ce sont des mesures de conduite enregistrées sur les quelques centaines de mètres qui suivent sa reprise de contrôle du véhicule, telles que la trajectoire du véhicule, la variation de l'accélération ou du freinage. Ces deux types de mesure sont des indicateurs indispensables à l'étude de la transition de contrôle. Leur utilisation quasi systématique depuis plusieurs années par les équipes de recherche du domaine leur confère une fiabilité importante sur la réaction du conducteur (Gold et al., 2016; Melcher et al., 2015; Wester et al., 2008). Ce qu'il est intéressant de constater dans cette construction des études sur la reprise en main d'un véhicule hautement automatisé, c'est le déséquilibre de l'importance accordée entre les mesures relatives aux conséquences des actions du conducteur sur le comportement du véhicule (temps de freinage, déviation latérale par rapport à l'axe de la route) et celles relatives au comportement et à la cognition humaine. En effet, en prenant le nombre total d'études qui se sont intéressées à cette situation de conduite, celles qui enregistrent des données comportementales ou cognitives et qui les interprètent reste faible (Jaussein et al., 2021). Deux raisons peuvent être exposées pour comprendre ce fait. La première est que l'explosion des recherches à ce sujet a été poussé par l'arrivée de la technologie. Les études sont donc majoritairement techno-centrées : elles tentent de répondre à des questions posées sur le fonctionnement de telle ou telle autre brique technologique. La seconde est liée au caractère critique des scénarios construits. Trop souvent, le scénario n'offre qu'un type de situation au conducteur qui est toujours critique : il n'a que quelques secondes (3 à 8 secondes) pour opérer une reprise en main. Dans ce contexte, les comportements sont assez homogènes car l'humain a un fonctionnement assez similaire dans des situations très dégradées. Pourtant, nous savons aujourd'hui que l'environnement routier est divers. Nous savons aussi que les situations de reprises en main ne seront pas tout le temps critiques, voire peu souvent même car c'est certainement le choix d'une mise en sécurité du véhicule qui sera effectuée par l'automate dans

des situations jugées critiques⁴. Sur l'échelle proposée par Lu et al., nous pouvons observer la diversité des cas de figures que le conducteur rencontrera. Ils avancent d'ailleurs l'importance de prendre en compte le facteur humain pour mieux définir et comprendre cette interaction entre l'Homme et la Machine (Z. Lu et al., 2016).

Dans cette thèse, pour observer plus de variabilité entre les conducteurs, nous nous intéressons à la transition de contrôle non critique sous l'angle du facteur humain. Nous distinguons différentes étapes de la transition en fonction de l'évolution des mécanismes d'engagement dans la tâche du conducteur. Puis, pour chacune de ces étapes, nous proposerons des mesures propres à l'état d'engagement du conducteur. De plus, nous considérerons le cas de figure où le conducteur s'engage dans une TVB lorsque le mode autonome est activé. Nous distinguons trois états principaux du conducteur en concurrence des états du système utilisés pour modéliser une phase de transition (mettre la figure de ma review). Tout d'abord, le conducteur sera engagé dans une TVB. Au moment de l'alerte lui indiquant qu'une reprise en main est nécessaire, il entamera deux phases concomitantes : le désengagement dans la TVB et l'initiation d'un réengagement dans la situation routière et l'activité de conduite. Alors que le désengagement de la TVB se terminera, le réengagement dans la situation routière atteindra son état total. Partant du postulat que ces phases sont progressives et décorréées de l'état du système, il semble indispensable de recueillir des mesures propres à ces différents états du conducteur en plus de celles communiquées par le système. Certaines études antérieures ont déterminé que les mécanismes d'engagement dans la TVB étaient des facteurs importants de performance de prise de contrôle (Ko & Ji, 2018a; Louw et al., 2019; Wandtner, Schömig, et al., 2018c). Ces études ont utilisé différentes manières d'explorer l'engagement dans une TVB. Certains auteurs ont utilisé une évaluation subjective du niveau de charge de travail, d'autres ont utilisé la théorie de

⁴ On retrouve par exemple dans de récents travaux de l'ONU les objectifs suivants concernant le développement de systèmes de suivi de trajectoire : « In case of a planned event that would prevent the ALKS from continuing the operation, a transition demand shall be given early enough to ensure the minimal risk maneuver, in case the driver would not resume control, would bring the vehicle to standstill before the planned event occurs. »

l'interruptibilité pour l'explorer (Befelein et al., 2018b) ou ont combiné différentes variables de comportement à bord (Wandtner, Schömig, et al., 2018c; Wandtner, Schmidt, et al., 2018a) pour étudier les variations d'engagement dans les NDRTs et son impact sur les performances de conduite.

Selon des chercheurs s'intéressant à l'impact du stress sur la performance, l'engagement dans la tâche est un des facteurs clés (Matthews et al., 2010a). A travers des travaux de recherches, ils ont construit une échelle de mesure s'appuyant sur la variation de trois sous-facteurs : l'excitation énergétique, la concentration et la motivation (Matthews et al., 1999). Une combinaison de ces différentes mesures de l'engagement dans les tâches a été testée dans le cadre d'une étude pilote (Article 2). La mesure de l'interruptibilité, de la charge de travail et du task engagement tel que le définissent Matthews et al. dans leur travaux ont été associées également dans cette étude. Les mesures de l'engagement et du désengagement sont donc issues de deux travaux distincts : d'un travail de revue de la littérature qui a recensé les études s'intéressant à l'impact de l'engagement du conducteur dans une ou plusieurs TVB(s) pour étudier la performance de reprise de contrôle d'un véhicule en situation simulée en utilisant particulièrement des variables dépendantes ou indépendantes reliées au concept d'engagement dans une tâche ; et d'une étude pilote dont l'objectif était d'étudier la pertinence des différents facteurs ou co-variables de l'engagement connus et de déterminer leur compatibilité dans le cadre de nos recherches. Il résulte de ce travail les variables dépendantes décrites ci-après.

B. Hypothèses de recherche

Nous avons déterminé deux volets d'hypothèses correspondant aux deux temps principaux des travaux de recherche menés. Le premier volet correspond aux hypothèses théoriques déterminées dans le but d'étudier la pertinence d'outils de mesure sélectionnés pour étudier la variation de l'engagement dans la tâche. Elles sont présentées dans le Tableau 6. Le second volet présente les hypothèses déterminées pour le cadre expérimental de l'étude sur simulateur s'intéressant tout particulièrement aux trois stades d'évolution de l'engagement dans une tâche dans le cadre d'une transition de contrôle sur la base des travaux précédemment développés. Elles sont présentées dans le Tableau 7. Notre approche se décline selon les trois temps des

processus d'engagement identifiés par nos travaux sur la transition de contrôle (voir niveau « cognitive-centred » des domaines de la figure ci-dessous pour rappel).

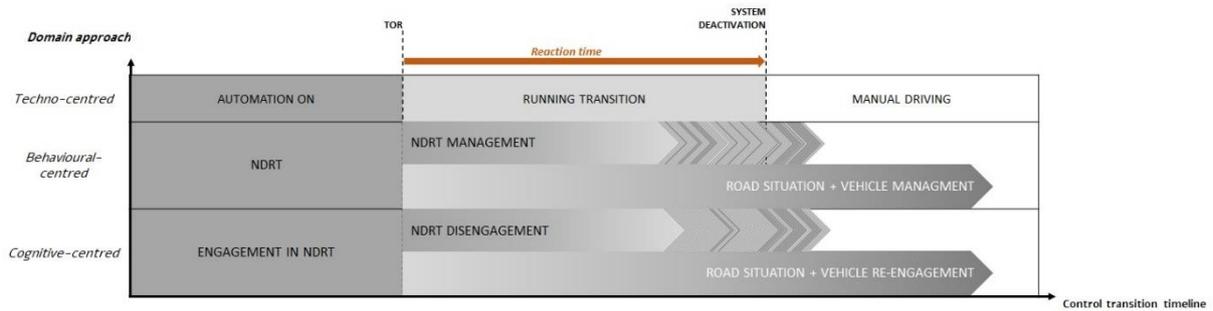


Figure 14 : Rappel de l'illustration des différentes approches de la transition de contrôle (Jaussein et al., 2021)

La reprise en main d'un véhicule hautement automatisé met en interaction Humain et Machine dans un environnement en mouvement. Ce transfert de contrôle demande que le système effectue les différentes étapes d'arrêt de la conduite autonome pendant que, parallèlement, le conducteur se prépare pour effectuer la reprise en main puis reprenne en main le véhicule. Comme l'exprime et l'illustre nos travaux de revue de la littérature à ce sujet, la littérature actuelle considère en majorité cette action de transition selon les états du système et non du conducteur (Jaussein et al., 2021). Or, sans négliger les étapes traversées par le système, nous proposons une approche selon les enjeux humains associés à la reprise en main en prenant en compte les états du conducteur. Nos hypothèses sont donc construites selon les trois principaux états identifiés du conducteur lors de la transition de contrôle : la phase d'engagement dans une tâche de vie à bord, la phase de désengagement de cette TVB pour ensuite enclencher un réengagement dans la tâche de conduite.

Le premier volet d'hypothèses se concentre sur la mesure de l'engagement alors que le second volet développe des hypothèses pour les trois étapes, mises en œuvre dans le cadre d'une expérimentation sur simulateur (Section IV.B).

Hypothèse théorique		Hypothèse opérationnelle
H1	La partie mesurant l'engagement dans la tâche par le sous facteur « Task Engagement » du Dundee Stress State Questionnaire permet de mesurer la variation de l'engagement ressenti entre différentes tâches réalisées sur support numérique et de courte durée (4 à 6 minutes)	Le niveau de « Task engagement » du DSSQ varie en fonction du type de tâche. La tâche de rotation mentale associée à une forte demande est associée à de hauts niveaux d'engagement ressenti dans la tâche.
H2	Un fort engagement ressenti dans une tâche est associé à l'attribution d'un faible niveau d'interruptibilité d'une tâche (plus la personne se sent engagée, plus elle aura tendance à se sentir déranger lors d'une interruption de la tâche en cours)	L'engagement ressenti dans la tâche mesuré par le DSSQ est corrélé négativement au niveau d'interruptibilité déclaré
H3	Un fort engagement ressenti dans une tâche est associé à un niveau de workload élevé.	Le niveau général de « Task engagement » du DSSQ varie de paire avec le niveau de charge de travail.
H4	La motivation a un effet sur le niveau d'engagement ressenti	L'engagement ressenti dans la tâche sera en moyenne plus haut pour les participants ayant été orientés vers une consigne particulièrement motivante.

Tableau 6 : Hypothèses théoriques et opérationnelles de la première étude (enquête en ligne)

Hypothèse théorique		Hypothèse opérationnelle
H1	Les TVBs créent des niveaux d'engagement qui leur sont propres en fonction de différentes caractéristiques	L'engagement dans la tâche ressenti est le plus élevé dans le cas du visionnage d'une vidéo (sur la base des travaux de Zeeb <i>et al.</i> , 2015) que dans le cas des autres TVBs
		L'engagement ressenti est corrélé positivement à l'effort ressenti pour réaliser la tâche (MART)
		L'engagement ressenti est plus fort pour Tetris à niveau élevé que pour Tetris à niveau facile
H2	Les TVBs engendrent des mécanismes de désengagement qui leurs sont propres en fonction de différentes caractéristiques	Il existe des différences de gestion de fin de tâche en fonction du type de TVB réalisée
		La manipulation du smartphone en fin de tâche varie en fonction de l'engagement du conducteur dans la TVB
		L'engagement dans la tâche influence la gestion de fin de tâche
H3	Les états d'engagement durant à la TVB réalisée pendant la phase autonome auront une influence sur le réengagement du conducteur dans la tâche de conduite	Les participants ayant évalué la TVB à un niveau élevé de d'engagement auront un contrôle latéral et longitudinal moins précis en reprise en main
		Les participants ayant évalué la TVB à un niveau élevé de workload auront un contrôle latéral et longitudinal moins précis en reprise en main

Tableau 7 : Hypothèses théoriques et opérationnelles de la seconde étude (expérimentation sur simulateur)

C. Démarche expérimentale

La démarche expérimentale construite pour répondre aux hypothèses établies se compose de deux volets. Le premier volet a pour objectif de tester la pertinence de différents outils de mesures subjectives permettant d'évaluer des niveaux d'engagement dans des tâches de courte durée (de 4 à 6 minutes) réalisées sur un support numérique. Il a été réalisé sous la forme d'une étude en ligne à large diffusion. Ces outils de mesures testés lors du premier volet expérimental, ont ensuite été utilisés et combinés à d'autres mesures, de conduite et comportementale, dans le second volet réalisé sur simulateur de conduite. Pour ce second volet, des conducteurs ont été reçus au laboratoire pour participer à une expérimentation sur simulateur au cours de laquelle ils ont rencontrés des situations variées allant de la conduite manuelle à la délégation de conduite. Lors des phases de délégation de la conduite, les participants ont été invités à

réaliser différentes TVBs. Les mesures de leur niveau d'engagement dans les TVBs, de leur stratégie de désengagement de ces TVBs puis de leur réengagement dans la tâche de conduite lorsqu'une reprise en main était nécessaire ont été confrontées dans le but d'observer les variations des niveaux d'engagement entre individus et entre tâches puis l'effet de ces niveaux d'engagement observés sur la capacité de reprise en main du véhicule au moment d'une transition de contrôle.

D. Mesures des différentes étapes de la transition de contrôle

1. Mesures de l'engagement dans une TVB

Pour étudier la variation du niveau d'engagement dans les TVBs pratiqués par les participants, une combinaison de mesures a été effectuée. Ainsi, la charge de travail ressentie, la déclaration subjective du niveau d'engagement ressentie par le participant ainsi que des indices comportementaux ont été récoltés et combinés.

a. La charge de travail

Selon les travaux de plusieurs auteurs, la pertinence des procédures d'évaluation de la charge mentale de travail dépend du degré de respect d'un certain nombre d'exigences (Eggemeier & Wilson, 1991; Rubio et al., 2004) :

- La Sensibilité : détecter les changements de difficulté et de demande de tâche, identifier les changements dans les variations de la charge de travail et la cause de ces changements
- La « Selectivité » ou validité : l'indice doit être sensible uniquement aux différences de demandes cognitives, et non à des modifications d'autres variables telles que la charge de travail physique ou le stress émotionnel, pas nécessairement associées à la charge mentale de travail
- Le caractère intrusif : la mesure ne doit pas elle-même générer de la charge
- La fiabilité : la mesure doit refléter systématiquement la charge mentale de travail (uniquement CDT mais aussi pour toutes les situations)

- L'exigence de mise en œuvre : Incluant des aspects tels que le temps, les instruments et les logiciels pour la collecte et l'analyse de données
- L'acceptabilité par le sujet : la perception par le sujet de la validité et de l'utilité de la procédure.

L'échelle NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) est parmi les instruments les plus largement utilisés pour évaluer un niveau subjectif de charge de travail. Elle distingue six dimensions traduites de la façon suivante en langue française : les exigences mentales, les exigences physiques, la pression temporelle de la tâche ainsi que la performance personnelle et l'effort. Chacune de ces dimensions est notée par le participant. La moyenne des 6 échelles définit un score de la charge de travail ressentie par le participant.

Une version français du NASA-TLX a été produite et validée (Cegarra & Morgado, 2009). Cette version française servira de mesure de la charge de travail ressentie pour chaque tâche dans le cadre des expérimentations menées. Les participants pourront remplir directement le questionnaire sur le smartphone utilisé pour les TVBs en attribuant à chaque dimension un score reflétant leur ressenti sur une jauge allant de 1 à 10.

b. Le Dundee Stress State Questionnaire

Le DSSQ (voir annexe) est un outil de mesure permettant d'évaluer les multiples dimensions de l'état de stress dans une situation donnée. Il comporte 90 questions. Le DSSQ a permis d'identifier dix échelles primaires (facteur de premier ordre) qui sont chacune liées à l'un des trois domaines suivants : l'humeur, la motivation et la cognition (capacités de mobilisation de l'attention).

Les données clefs de la validité du DSSQ proviennent d'études sur le stress induit par la tâche. Ces études montrent que les tâches avec de nombreuses exigences donnent des modèles différents de réponse à travers les multiples facteurs du DSSQ.

Le questionnaire est construit autour de trois dimensions de l'état de « stress » :

- L'engagement dans la tâche (= task engagement) qui intègre l'énergie, la motivation et la concentration.

- La détresse (ou stress) (= distress) est définie par les perceptions de manque de confiance en soi et de contrôle et dépendant beaucoup de la charge liée à la tâche.
- L'inquiétude (= worry) est un état cognitif défini par un « focus » de l'attention sur soi, une faible estime de soi ainsi qu'une interférence cognitive entre la tâche en cours et les préoccupations personnelles.

Généralement, le « distress » et le « task engagement » sont indépendants l'un de l'autre tandis que le « distress » et le « worry » sont corrélés à environ 0,2 - 0,3. Le DSSQ semble être un outil pertinent pour évaluer l'engagement dans une TVB. En revanche, sa longueur nous est rapidement apparue comme un frein majeur dans un protocole ayant pour objectif de manipuler plusieurs TVB (il faut environ 15 à 20 minutes pour remplir le questionnaire pour une seule tâche). Jusqu'à présent, le DSSQ était principalement utilisé dans des expérimentations qui étudiaient une activité unique, principale et souvent longue allant parfois jusqu'à une demi-journée (Matthews, 2016 ; Reinerman-Jones et al., 2016 ; Saxby et al., 2013). Il existe néanmoins une version raccourcie du DSSQ mais dont le but principal reste de mesurer le stress (Helton, 2004). Cette version raccourcie prouve à la fois l'intérêt porté par différents chercheurs pour cet outil et l'existence d'un consensus sur les freins que génère la longueur du questionnaire original. Comme l'expliquent Helton *et al.*, la longueur du DSSQ peut entraîner des problèmes de fatigue possible en conditions expérimentales et mettre en péril sa robustesse dans la mesure du stress en milieu opérationnel.

En considérant ce point, il a été décidé de l'utiliser en deux étapes. D'abord, de l'appliquer et de le tester en entier uniquement sur un jeu de rotation mentale (qui est l'une des trois activités que les participants ont réalisé dans l'étude en ligne présentée en section IV.A.4). En effet, la mémoire de travail est fortement impliquée dans la rotation mentale et une étude précédente a montré des résultats cohérents de DSSQ pour la tâche de mémoire de travail (Matthews et al., 2013). Ensuite, les résultats obtenus lors de cette enquête, montrant l'indépendance du facteur « Task engagement » des deux autres « distress » et worry » ainsi que l'expérimentation de la mise en œuvre du DSSQ dans son entièreté nous a amené à utiliser pour la seconde expérimentation seulement la partie évaluant l'engagement dans la tâche mais pour chacune des huit tâches réalisées par le participant.

La partie « Task engagement » du DSSQ comporte quatre échelles qui sont le résultat de calculs opérés sur le regroupement d'un certain nombre d'items pour chacune d'elle. Les quatre échelles sont présentées ci-dessous avec pour chacune d'elle un exemple d'item (Tableau 8).

Echelle	Exemple d'item	Echelle de réponse
Energetic arousal (8 items)	Fatigué	Tout à fait = 1 Plutôt = 2 Pas vraiment = 3 Pas du tout = 4
Intrinsic motivation (8 items)	Le contenu de la tâche était intéressant	Extrêmement = 4 Beaucoup = 3 Assez = 2 Un peu = 1 Pas du tout = 0
Success motivation (7 items)	J'avais envie de bien faire	
Concentration (8 items)	Mon attention se posait sur d'autres choses que la tâche	

Tableau 8 : Les quatre échelles composant le facteur "Task Engagement" du DSSQ

c. Mesures du niveau d'interruptibilité d'une tâche

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** répertorie les différentes mesures de l'interruptibilité rencontrées dans la littérature. Trois types de mesures liées au concept d'interruptibilité ont été particulièrement identifiées :

- Des questionnaires sur le niveau de dérangement ou l'agacement ressenti par le participant lors de l'interruption de sa tâche
- La mesure d'un délai de reprise d'une tâche (temps entre l'arrêt d'une tâche et la reprise soit de la même tâche soit d'une nouvelle s'il s'agit d'un changement de tâche)
- L'observation et le codage de comportements liés à la gestion de la fin de la tâche à interrompre (est-elle totalement interrompue ou mise en pause voire même continuée ?)

Auteur	Mesures
(Iqbal & Bailey, 2005)	<p>Annoyance. Cela a été mesuré sur une échelle allant de faible à élevé, similaire à celles utilisées dans le NASA-TLX. La gêne a été utilisée comme mesure de l'état affectif de l'utilisateur.</p> <p>Respect. Les utilisateurs ont évalué le respect du système d'interruption par rapport à la tâche principale.</p>
(Iqbal & Bailey, 2006)	<p>Cost of Interruption. Mesure d'un délai de reprise de la tâche (« Resumption lag ») pour évaluer le coût de son interruption en prenant en compte la structure de la tâche et notamment à quel point elle suscite un engagement fort.</p>
(Fogarty, Hudson, et al., 2005)	<p>Interruptibility. Une question avec échelle : « Highly interruptible » vs « Highly non-interruptible » (5 points entre les deux)</p>
(Kern & Schiele, 2006)	<p>Disturbance. Trois questions au sujet du niveau de dérangement ressenti lors d'une interruption.</p> <p>“How much does it disturb you, if you receive a phone call in this situation?” (Mobile phone rings audibly)</p> <p>“How much does it disturb you, if you receive a phone call in this situation?” (Mobile phone vibrates, you notice it)</p> <p>“How much does it disturb your environment, if you receive a phone call in this situation?” (Mobile phone rings audibly)</p>
(Wandtner, Schömig, et al., 2018b; Wandtner, Schmidt, et al., 2018a)	<p>Interruption strategy. Le désengagement de TVBs au moment d'une reprise en main est mesurée par la stratégie d'interruption opérée, c'est-à-dire, la manipulation de la TVB à partir de l'alarme jusqu'à la fin de la situation de reprise en main (mise en pause, stoppée, rien, posée sur les genoux, maintenu dans une main, posée sur le siège passager, jetée sur le siège passager, etc.)</p> <p>Resumption. Les auteurs ont également codé les comportements en trois groupes :</p> <p>« Immediate interruption and no task resumption »</p> <p>« Interruption with a resumption of the task after responding to the request »</p> <p>« Continuation of the task even during the takeover »</p>

Tableau 9 : Variables dépendantes utilisées dans les études de l'interruptibilité

Dans le cadre de l'enquête en ligne réalisée, la mesure d'un niveau de dérangement a été utilisée sous la forme de questions selon l'approche de Kern & Schiele (2006).

d. Les patterns visuels

Le nombre des regards en direction de la route et de l'écran central seront également pris en compte comme indicateurs du niveau d'engagement dans la TVB. Les regards ont été codés grâce aux vidéos enregistrées du participant à bord du véhicule du simulateur de conduite.

2. Mesures du désengagement d'une TVB

a. Interruption de la TVB

Lors du second volet expérimental se déroulant en situation de transition de contrôle en simulateur de conduite, l'étude des comportements vis-à-vis de la tâche à arrêter à partir de l'alerte a été réalisée grâce à l'observation de la stratégie d'interruption. La manipulation du smartphone après qu'il ait été lâché a donc été observée et codée. Elle consiste à coder :

- Le nombre de des fois où le conducteur, après avoir repris le contrôle du véhicule, reprend le smartphone pour manipuler la TVB qui était en cours.
- Le nombre de regards en direction du smartphone une fois que celui-ci a été lâché ont également été comptés.

b. Temps pour mettre fin à la TVB

L'observation et le codage des regards durant la phase de transition (à partir de l'alerte de reprise en main) a été réalisé afin d'enregistrer la répartition des regards entre l'environnement routier et la TVB. Les variables suivantes ont été codées :

- Le temps pour enclencher le mouvement de dépôt du smartphone : correspond au temps écoulé entre l'alerte et le premier mouvement du bras tenant le smartphone indiquant l'intention de lâcher le smartphone
- Le temps pour lâcher le smartphone : correspond au temps écoulé entre l'alerte et le moment où le smartphone est lâché

3. Mesures du réengagement dans la tâche de conduite

Pour investiguer le réengagement du conducteur dans sa tâche de conduite, deux types de mesures sont couplées. Nous utiliserons les mesures classiques de la performance de reprise en main comprenant deux volets : des mesures de temps et des mesures qualitatives de conduite (mesures objectives de trajectoire de conduite).

Les processus de désengagement de la TVB et de réengagement dans la tâche de conduite peuvent se chevaucher tel que nous l'avons vu précédemment (Jaussein et al., 2021). Nous postulons donc que les variables de désengagement seront également un indicateur du niveau de réengagement puisque la mise en place de ce dernier est dépendante des mécanismes de désengagement activés en parallèle.

Elles correspondent aux mesures utilisées classiquement tels que des temps de reprise en main ou d'autres mesures qualifiées de « mesures qualitatives » comme par exemple la déviation latérale de la position du véhicule par rapport à l'axe central de la route. La norme ISO/TR 21959-2:2020 répertorie les types de mesures de la performance de reprise en main en trois grandes catégories :

- Les mesures relatives à la réponse humaine, contenant trois sous-catégories :
 - La réponse visuelle
 - La réponse cognitive
 - La réponse physiologique
- Les mesures de la dynamique du véhicule, relatives aux aspects :
 - Longitudinaux
 - Latéraux
- Les mesures relatives à la sécurité, c'est-à-dire au niveau de sécurité de la manœuvre opérée en fonction de l'environnement routier et au trafic au moment de la reprise en main :
 - Ce qu'ils appellent des imprécisions
 - Des erreurs de conduite
 - Des mises en danger

- Des pertes de contrôle

Ces mesures de performances sont davantage décrites dans les deux sections suivantes. Elles ont fait l'objet de nombreux travaux et ont donc suscité de nombreuses descriptions et mises en œuvre, parfois très différentes. Leurs usages ont été récemment détaillés et analysés par quelques travaux de méta-analyse ou d'état de l'art sur lesquels nous nous appuyerons pour nos choix expérimentaux.

a. Les temps de reprise en main

Comme évoqué plus tôt à travers le travail de méta-analyse de Zhang et al., le temps de reprise en main est une mesure largement utilisée par les chercheurs pour étudier la performance de reprise en main d'un véhicule lors d'une transition de contrôle (Zhang et al., 2019a). Ils définissent le temps de reprise en main comme le temps entre le stimulus de reprise en main (l'alerte de requête de reprise en main ou l'événement critique déclencheur) et l'intervention du conducteur. Les variables de temps utilisées dans les études sur simulateur sont très nombreuses. Zhang et al. les rappellent :

- Le temps pour poser le regard sur l'aire d'intérêt correspondant à la zone de la route à regarder
- Le temps pour poser les mains sur le volant
- Le « temps de reprise en main » correspondant la plupart du temps au temps entre l'alerte et la désactivation du système engendrée par l'intervention du conducteur
- Ainsi que des temps plus spécifiques comme le temps pour effectuer un contrôle de miroir, pour initier un mouvement de bras ou de jambe ou pour changer de voie de circulation.

Le type de mesure du temps le plus pertinent et le plus couramment utilisé est le « temps de reprise en main » mentionné plus haut. Pour l'évaluation des situations de reprise de contrôle dans les études sur simulateur, des seuils de variation de deux degrés de l'angle du volant ou de la position de la pédale de frein de 10 % ont été interprétés comme le début d'une intervention consciente du conducteur (Gold *et al.*, 2013 ; Zeeb *et al.*, 2015 ; Gold, 2016).

Pour l'expérimentation conduite sur simulateur dans le cadre de nos travaux, les mesures de temps répertoriées dans le tableau ci-dessous (Tableau 10) ont été utilisées.

Variable	Description
Temps de pose des mains sur le volant	Temps entre l'alerte et la première main posée sur le volant
Temps pour regarder la route	Temps entre l'alerte et le premier regard porté à l'environnement routier (rétroviseurs ou par-brise)
Temps pour regarder l'écran central	Temps entre l'alerte et le premier regard porté à l'écran central
Temps d'appui sur une pédale	Temps entre l'alerte et le premier appui sur la pédale d'accélérateur ou de frein (enfoncement supérieur ou égal à 10%)
Temps de reprise en main	Temps entre l'alerte et la désactivation du système

Tableau 10 : Variables de temps de reprise en main utilisées dans l'expérimentation sur simulateur

b. La qualité de la reprise en main

La qualité de la reprise en main effectuée par un conducteur doit être évaluée en fonction des critères du ou des scénarios vécus et notamment de la manœuvre attendue pour une reprise de contrôle performante (ligne droite, courbe, freinage ou accélération). Pour évaluer les situations de reprise de contrôle qui nécessitent un freinage et/ou une manœuvre d'évitement de direction, Gold (2016) suggère les métriques suivantes : accélérations absolues maximales (longitudinales et/ou latérales), temps minimal avant collision (TTC, le temps hypothétique jusqu'à une collision avec un obstacle, étant donné des vitesses relatives constantes), et l'occurrence de collisions comme critère de réussite/échec clairement défini. Une récente revue systémique et méta-analyse de la littérature sur les performances de reprise en main d'un véhicule hautement automatisé relate et catégorise les variables dépendantes utilisées de 51 expérimentations selon l'approche classique : les mesures de temps et les mesures de qualité (Weaver & DeLucia, 2020). Cinq mesures de la qualité de la reprise en main sont évoquées avec des exemples (le XX présente ces mesures traduites).

Catégorie	Définition	Exemples de mesures
Distance minimum	Plus petite distance physique ou temporelle entre le véhicule conduit et un danger devant	Temps minimum de collision, Ecart minimum
Ampleur de freinage	Degré auquel le conducteur réduit la vitesse longitudinale	Décélération longitudinale maximale, vitesse minimale et décélération moyenne
Ampleur de la manipulation du volant	Degré auquel le conducteur tourne le volant pour contourner un obstacle	Accélération latérale maximale, angle maximal du volant et vitesse latérale maximale
Positionnement dans la voie	Variabilité de la position du véhicule conduit dans la voie	Écart type de la position sur la voie, écart type de la position du volant et position latérale absolue moyenne
Collisions	Nombre de fois où le pilote a percuté un objet de l'environnement routier	Collisions

Tableau 11 : Catégorisation des mesures de performances de reprise en main dans la méta-analyse de déterminées par Weaver & DeLucia (2020)

Pour l'expérimentation conduite sur simulateur dans le cadre de nos travaux, nous avons calculé :

- la déviation standard de la vitesse du véhicule,
- le minimum de l'accélération
- la déviation standard de l'angle du volant sur les 8 secondes qui suivent la désactivation du système.

E. Résumé des mesures

Le tableau ci-dessous offre un récapitulatif des mesures réalisées pour chacune des expérimentations.

Expérimentation	Variables dépendantes
N°1 : étude en ligne	<u>Mesures de l'engagement</u> Pour toutes les tâches :

	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'interruptibilité par questionnaire sur la base de Kern & Schiele (2006) <p>Pour la tâche de rotation mentale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - DSSQ (version complète) - NASA-Tlx - Performance (à travers un score obtenu en fonction du nombre de réponses correctes)
<p>N°2 : en simulateur de conduite</p>	<p><u>Mesures de l'engagement</u></p> <p>Pour toutes les tâches :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'interruptibilité par questionnaire sur la base de Kern & Schiele (2006) - Task Engagement du DSSQ - NASA-Tlx - Nombre de regards en direction de l'environnement routier ou de l'écran central du véhicule <p><u>Mesures du désengagement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Recensement de la manipulation du smartphone après qu'il a été déposé - Recensement du nombre de regards en direction du smartphone après qu'il a été déposé - Le temps pour enclencher le mouvement de dépôt du smartphone - Le temps pour lâcher le smartphone <p><u>Mesures du réengagement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Temps de pose des mains sur le volant - Temps pour regarder la route - Temps pour regarder l'écran central - Temps d'appui sur une pédale - Temps de reprise en main - Stabilité longitudinale (déviation standard de la vitesse sur les 8 secondes qui suivent la désactivation du système) - Minimum de l'accélération - Stabilité latérale (déviation standard de l'angle du volant sur les 8 secondes qui suivent la désactivation du système)

V. Partie expérimentale

A. Détermination des mesures subjectives de l'engagement dans des tâches de vie à bord : étude pilote (Article 2)

1. Résumé de l'article

Les variations de l'engagement dans une TVB lors de l'utilisation de systèmes hautement automatisés représentent un sujet important dans l'étude de l'effet de l'automatisation sur le comportement du conducteur. Cependant, sa mesure fait l'objet de design expérimentaux très divers, utilisant des outils de mesure variés. Dans le domaine automobile, l'engagement dans une TVB est parfois déterminé par le niveau de charge de travail ressenti (Ko & Ji, 2018a; Roche et al., 2019a). D'autres chercheurs le déterminent en évaluant un effort d'interruptibilité (Wandtner, Schömig, et al., 2018b, 2018c) en fonction de la TVB en cours au moment de l'alerte de reprise en main. Un troisième outil de mesure, le Dundee Stress State Questionnaire, comprenant une dimension de « task engagement » a été construit pour mesurer le stress ressenti lors de tâche longue, par exemple dans le cadre de métiers opérationnels. La dimension « task engagement » étant un des trois grands facteurs du stress selon la théorie de Matthews et al., son investigation par les items du questionnaire s'y référant est profonde. Grâce à une étude en ligne conduite en avril 2020, ces trois outils de mesure de l'engagement dans la tâche ont été testés dans le contexte de tâches courtes (4 à 6 minutes) réalisées sur support numérique. 340 participants ont pris part à l'étude. Les TVBs (Vidéo vs. Lecture vs. Jouer) et la motivation (Instruction insistante vs. Aucune instruction particulière) ont été utilisées comme variables indépendantes. Plusieurs variables dépendantes ont été définies : le niveau d'engagement subjectif, le score à un jeu cognitif, le niveau d'interruptibilité estimé de la tâche et la charge de travail. L'engagement dans la tâche a montré un effet sur la performance au jeu cognitif ainsi que sur son niveau d'interruptibilité. Les participants qui considéraient que la tâche suscitait une charge de travail élevée se sont également déclarés très concentrés pendant la tâche. De plus, moins les participants se déclaraient a priori dans un état d'esprit concentré, plus ils avaient tendance à évaluer l'intervention du système comme dérangeante. Nous avons également trouvé

une différence dans les niveaux d'interruptibilité estimé en fonction du type de tâche : la vidéo était perçue comme la tâche la moins interruptible. Dans le contexte du véhicule connecté et automatisé, ces résultats nous amènent à penser l'engagement dans la TVB selon deux points de vue opposés : comme un outil pour maintenir un certain niveau d'attention du conducteur mais aussi comme un facteur qui rend les interactions avec le système plus complexes, voire perturbateur.

2. Méthode et matériel : informations complémentaires

a. Support d'enquête et de recueil des données

Le support utilisé pour l'étude en ligne est un Google Form. Google Form offre la possibilité de créer sur un seul et même « Form » des phases de questionnaires, des phases d'activités (visionnage de vidéo, lecture d'articles et jeu de rotation mentale sous forme de QCM) tout en permettant de répartir aléatoirement les participants entre deux conditions expérimentales. Les volontaires ont donc pu réaliser leur passation d'une traite sur un support et une page unique, simple d'utilisation. Le lien pour accéder à l'enquête en ligne a été diffusé sur des réseaux sociaux et par emails. L'enquête en ligne se constitue d'un pré-questionnaire et d'un post-questionnaire encadrant un corps expérimental. Ce corps expérimental comprend trois grandes étapes correspondant aux trois TVBs à réaliser. Pour chaque TVB, le déroulement est le même : le participant est invité à réaliser la tâche, ensuite à regarder une vidéo immersive pour l'inciter à s'imaginer réalisant la même tâche dans un véhicule lancé en mode autonome. Cette phase se termine par le remplissage d'un questionnaire au sujet de la tâche qu'il vient de réaliser.

b. Tâches

Chaque participant a réalisé trois tâches, dans le même ordre :

- Le visionnage d'une vidéo documentaire de la série française Arte « Tu mourras moins bête » ;
- La lecture d'un article de vulgarisation sur les cycles lunaires de la revue Sciences et Avenir ;

- Un jeu cognitif de rotation mentale présentant des figures en 2D à associer à leur équivalent présenté dans une autre position et dissimulé parmi trois autres items trompeurs (basé sur les travaux de Vandenberg & Kuse, 1978).

3. Contenu de l'article

NON-DRIVING-RELATED TASK DURING AUTOMATED DRIVING: A PILOT STUDY TO EXPLORE VARIABLES OF TASK ENGAGEMENT

Marie Jaussein^{1*}, Hélène Tattgrain¹ and Claude Marin-Lamellet²

¹TS2-LESCOT, IFSTTAR, Univ Gustave Eiffel, Univ Lyon, Lyon, France,

²TS2, IFSTTAR, Univ Gustave Eiffel, Univ Lyon, Lyon, France

ABSTRACT

Variations of task engagement while using highly automated systems represent an important topic in studying the effect of automatisation on driver behavior. Different engagement variables are defined by theories on stress, mental workload or interruptibility. During automated driving phases, Non-Driving-Related Tasks (NDRT) will become the main activity on board until a takeover request. As a first phase to explore NDRTs impact on task engagement, an online study was conducted in April 2020. 340 participants took part in the study. NDRTs (Video vs. Reading vs. Playing) and motivation (Insistent instruction vs. No particular instruction) were used as independent variables. Several dependant variables were defined: the subjective engagement rating, score at a cognitive game, interruptibility level and workload. Task engagement had an effect on the performance at the cognitive game and on its interruptibility level. Participants who considered the task at a high level of workload also declared themselves highly concentrated during the task. Moreover, the less the participants declared themselves in a focused state of mind a priori, the more they tended to evaluate the intervention of the system as disturbing. We also found a difference in interruptibility ratings in function of the task type: the video was perceived as the less interruptible task. In the context of connected and automated vehicle, these results lead us to think about engagement in NDRT from two opposite points of view: as a tool to maintain a certain level of driver attention but also as a factor that makes interactions with the system more complex and then becoming disruptive.

Keywords: HAD, Simulation, Attention, Engagement, NDRT

I. Theoretical background

Highly automated systems for automotive is going to offer free time to drivers. As several studies recently described it, drivers will prefer to engage in another activity while delegating control to the system than supervising it (T. Dingus et al., 2006; D. Large et al., 2020). One of the more common activity category reported by the latest studies is the use of electronic devices, tablet or smartphones, to text, to watch videos, to navigate or to play (Clark et al., 2017a; Hecht et al., 2020; Olson et al., 2009). In the context of individual cars, Hecht et al. found that general use of smartphone and texting are the most attractive activities according to their online survey (2020). In their study, the use of smartphone is considered as the most appropriate activity for leisure when relaxing and sleeping activities appear more attractive in the context of long time trips. The use of smartphone and the wide variety of activities that it offers give a large field to explore. So, the driver will engage in a Non-Driving-Related Task (NDRT). What would be the impact on his capacity to regain vehicle control when it will be necessary ? In fact, transitions between driver and the system are going to be more and more common because of the emergence and democratisation of highly automated driving systems but also because fully automated vehicle, able to drive in all situations seems to be still far in the future. The driver's ability, when engaged in NDRT, to manage control transitions is a crucial question. How different the reactions will be depending on the activity of the driver before the transition (Marberger et al., 2018; Mouloua & Hancock, 2019; Park et al., 2019b; Richards & Stedmon, 2016). To study the impact of NDRT on driver cognitive state, task engagement variation should be explored. Some previous studies determined engagement mechanisms in NDRT as important factors of takeover performance (Ko & Ji, 2018a; Louw et al., 2019; Wandtner, Schömig, et al., 2018c). These studies used different ways to explore NDRT engagement. Some of them used a subjective workload level rating, others used interruptibility theory to explore it (Befelein et al., 2018b) or combined different on-board behavior variables (Wandtner, Schmidt, et al., 2018b; Wandtner, Schömig, et al., 2018b) to investigate the NDRT engagement variations and its impact on driving performance. In research areas outside the automotive field, factors of task engagement had also been theorised in the investigation of stress state (Matthews et al., 2010). According to these researchers, task engagement is the result of three sub-factor variations: energetic arousal, concentration and motivation. Each sub-factors is a score,

combining several items of their “Dundee Stress State Questionnaire” (DSSQ). The DSSQ is a tool developed to measure the multiple dimensions of the stress state. It has 90 questions. Ten primary scales (first order factor) are identified which are each related to one of the following three areas: mood, motivation and cognition (more specifically attention mobilization abilities). These ten scales have themselves been to three dimensions of the state of stress:

- *Task engagement* integrates energy, motivation and concentration.
- *Distress* corresponds to a lack of self-confidence and perceived control and depends on the load associated to the task.
- *Worry* is a cognitive state defined by a focus of attention on oneself, low self-esteem as well as cognitive interference between the task in progress and personal concerns.

We hypothesize in this work that the DSSQ could be a precise and reproducible assessment tool for measuring task engagement in an activity on a smartphone. Matthews et al. have shown that working memory and alertness tasks, although both require cognitive engagement, tend to qualitatively elicit differences in DSSQ responses. DSSQ has already been validated since 1999, and evaluated in many professional tasks (air traffic controllers, long-distance drivers, video-surgical simulations). In fact, the DSSQ seems to be a relevant tool to evaluate NDRT engagement but its length could be a major impediment in a protocol with several NDRTs (it takes approximately 15 to 20 minutes to fill in the questionnaire). In previous study, it was mainly used in experimentations which studied one main activity, extensively long (Matthews, 2016; Reinerman-Jones et al., 2016; Saxby et al., 2013). By considering that point, it was decided to apply and test it only on a mental rotation game (which is one of the three activity that the participants will perform in our study). Working memory is highly involved in mental rotation and a previous study has shown consistent results of DSSQ for working memory task (Matthews et al., 2013).

Many researchers who have attempted to measure engagement in an NDRT during phases of driving automation have mostly used a sub-factor of task engagement or a co-variable (mostly interruptibility or workload). Nevertheless, task engagement is a high-level cognitive mechanism which is therefore complex. It depends on several factors that have to be combined

to obtain its true measurement and not that of just one of its components. Workload or interruptibility are indeed good indicators, but do not cover all aspects of the concept. The present online study is a pilot-study aiming to test task engagement measurement combining sub-factors previously used in the context of automated driving and a questionnaire, the DSSQ, mostly used in another field, which is a complete tool to evaluate task engagement according to the authors theory. The results will be used in the investigation of the impact of NDRT engagement on driving behavior in a future simulator study.

II. Method

340 participants completed an online study which contained activities to be performed and questionnaires to fill in. Situations presented by immersive videos that represent the use of highly automated driving system was displayed after each activity to illustrate driving cases evocated in the questionnaires.

1. Activities

The study comprised three activities chosen in function of previous research on NDRT occurrence during highly automated phases (D. Large et al., 2020; Olson et al., 2009). Each participant did each activity in the same order as presented below. The first activity was a compilation of short videos extracted from a well-known scientific cartoon for adults. The video approximately lasted 3 minutes. The second activity was a news article about the different shapes and colors of the moon during a year. It was calculated that the reading took in average 4 minutes. The last activity was the mental rotation game. Twelve items were extract from an official standardized rotation mental test (Vandenberg & Kuse, 1978b). The instruction for each item was to find among 4 figures which one is the equal to the one presented at first but in a different position (see figure 1). The three others were distractors. This last activity lasted on average 5 minutes.

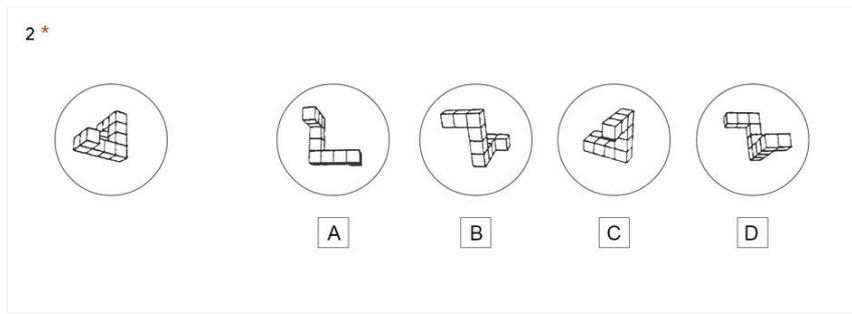


Figure 15 - Example of mental rotation game item

2. Procedure

The online study was conducted through a google form. The title of the study was “Automatisation et Cognition”. The link to the study was sent through different ways (social media, university channels and sports communities). All the participants were French. It was designed in five main parts described in Figure 3. The initial part contains the Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ) first part items (Matthews et al., 1997). The last part contains classic demographic questions. Three sections were between these two questionnaire-parts. Each of them had the same design (see Figure 2): as a first step (A), the participant has to do a single activity. Next step (B) consisted in imagine himself doing the same activity as they just did but inside an highly automated car. To favour the participant’s immersion, an illustration of a highly automated car was displayed by a video. Then (C), the participant was asked to answer to questions about the activity.

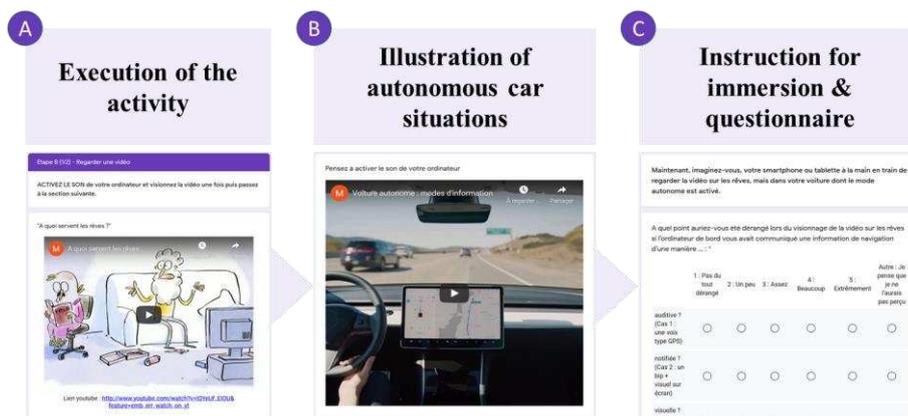


Figure 16 - Protocol steps for an activity

This protocol was reproduced for each activity (Part 1, 2 and 3 of the protocol presented in Figure 3), for each participant.

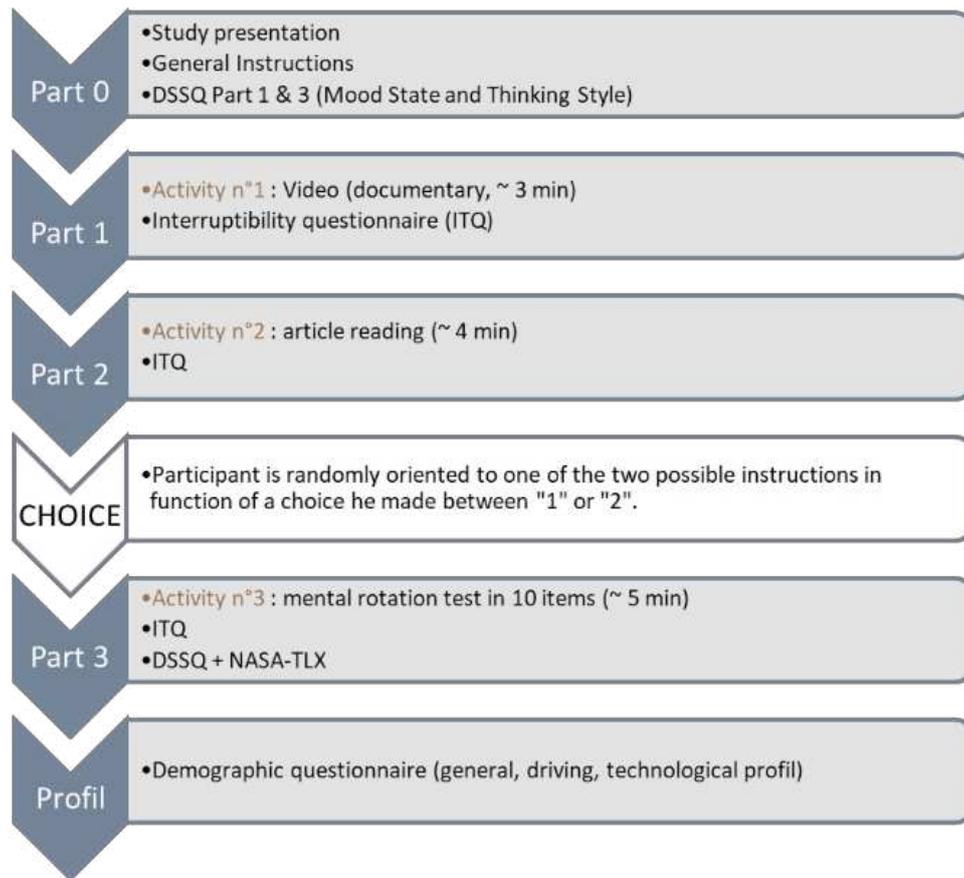


Figure 17 - Online study protocol

The first activity consisted of watching a video, the second activity consisted of reading a scientific news article and the third one was a mental rotation game. Before starting the third activity, participants were oriented either to classic instructions for the mental rotation game or to a more incentive-oriented instruction. This instruction consisted in sentences which defined a clear aim: to obtain the maximum score to compare themselves to other participants through a website where their results and position in the group would be displayed (only if they gave their agreement). The total duration of the online study was approximately 45 minutes with variations in function of the time spent to complete the mental rotation game.

3. Dependent variables

DSSQ: the questionnaire was split in two parts and administered in two steps. The participant answered to a first battery of questions in the “Part 0” of the procedure (see Figure 3) concerning his mood state and thinking style at the beginning of the study. Then, at the end of the “Part 3” of the procedure, the participant filled in the second battery of questions which referred to the mental rotation game. As presented in the Theoretical background section, the DSSQ contains

three main secondary scales: Task Engagement, Worry and Distress. As a first use of the DSSQ and because it has been always used under its complete format, it was decided to use the entire tool. It turned out though that the resulting scores of task engagement were the most interesting ones, which is why the result section does not treat the other two scales.

Interruptibility: after each activity, the participants were asked to imagine themselves doing it but in a HAD vehicle launched in an automated mode. Then, three questions were asked about the interruptibility level of the activity. For each question, it was described how the interruption would appear:

- The system communicates a navigation information by an auditory message (case 1).
- The system communicates a navigation information by a beep and a visual information through a pop-up on the central screen of the cockpit (case 2).
- The system communicates a navigation information only by a visual pop-up on the central screen of the cockpit (case 3).

To ensure that it was clearly understood and to make it more vivid, a video which described and illustrated the different cases was displayed. A 5-items-lickert-scale from “Not at all” to “Extremely” was used to collect the level of disturbance by the communication presented. This design to measure how much the participants felt disturbed by the alert was inspired from previous research (Fogarty, Hudson, et al., 2005; Kern & Schiele, 2006). So, an interruptibility score was calculated for each activity but also for each system communication type.

Workload: The NASA-TLX questionnaire (Hart & Staveland, 1988) is often used to measure task engagement in NDRT during HAD (Clark & Feng, 2017; S. C. Lee et al., 2020b; Roche et al., 2019a). The subjective workload was used for the last activity (mental rotation game). So, results from the ratings could be compare to the participant’s performance thanks to the score obtained.

Mental rotation: the test score consisted of two points for each correct answer meaning that the participant selected the right form. All answers which contains more than one item selected were considered wrong.

Table 1 summarizes the dependent variables used in our analysis and interpretation. A description of each main variable is given with their potential sub-factors associated.

Dependent variable	Description and sub-variables mentioned in the results
Task Engagement (TE)	Secondary scale of the DSSQ, combining three sub-scales: energetic arousal, motivation and concentration. Components: TE_motivation, TE_concentration
Interruptibility (ITP)	Subjective level corresponding to what extent the task seemed easily interruptible. Based on three questions, each referring to one notification type: auditory, auditory-visual or visual only (see procedure section). Components: ITP_audio, ITP_audio-visual, ITP_visual
Workload (WL)	Combined score obtained from NASA-TLX on 6 sub-factors: mental demand, physical demand, temporal demand, performance, mental frustration and effort. Components: WL_mentalD, WL_performance, WL_frustration
Mental rotation game score (MRscore)	Score obtained at the mental rotation game from 0 to 12(high score).

Table 1 - Summary of variables and their sub-variables associated, used in the result section

The sub-factors mentioned in the result section are described in the table and a specific name is given to each of them. It means that in the result section, some results regarding a main variable will be presented (i.e., for general task engagement measured by DSSQ, the variable name “TE” will be used) but also other results will concerned sub-variables (i.e., the motivation, sub-factor of task engagement, will be mentioned as a sub-variable with the name “TE_motivation” which indicates both its relation to task engagement and the sub-factor discussed).

III. Results

1. Demographical data and data preparation

After the exclusion of non-conform participations, 327 answers were analysed. The participants' average age was 42,33 years (SD = 14,07) ranging from 19 years to 75 years. Females represents 57% and male 43% of the respondents. All of them hold their driving licence. Regarding driving habits, 39% said that they used their car for daily commutes, 26% for weekly trips, 19% less than one time per week and 16% rarely.

To explore the effect of task engagement on the other variables, four groups were created from the quartile (Q1 to Q4). From group one to group four, task engagement level increases. In figures 5, 6 and 7, quartile were used to illustrate different effects as below:

- Q1: low engagement level (TE_Low)
- Q2: medium-low engagement level (TE_MediumLow)
- Q3: medium-high engagement level (TE_MediumLow)
- Q4: high engagement level (TE_High)

Each secondary scale of the DSSQ was significantly correlated to the others. Worry was highly correlated to Distress ($r=.502$) and Task Engagement ($r=.166$) while Task Engagement was also highly correlated to Distress ($r=.203$).

2. Effect of instruction orientation

The participants were randomly assigned to one of the instruction orientation conditions (competitive vs. non-competitive). A one-way within subjects ANOVA was conducted to compare the effect of the type of instruction on task engagement (TE). No significant effect was found ($F(1, 325) = 1,8, p = .180$). This was surprising. One would expect that participants with a more competitive instruction would show a higher level of task engagement. Although the instruction did not seem to affect task engagement, a higher level of task engagement did lead to a better performance as the participants with higher task engagement had higher mental rotation scores (see Figure 4, $F(33, 293) = 2.04, p = .001$). To test whether an instruction stressing competitiveness had an effect on the perceived workload as measured by the NASA-TLS, a one-way within subjects ANOVA was conducted to compare the effect of the type of instruction (motivation vs. no motivation) on the workload level. A significant effect was found on the global score (see Figure 5, $F(1, 325) = 7.5, p = .007$). In particular the perceived temporal demand was higher in the motivation condition ($F(1, 325) = 28.7, p < .001$), but also the performance ($F(1, 325) = 11.8, p = .001$). An increased frustration in the motivation condition was marginally significant ($F(1, 325) = 21.5, p = .051$).

3. Effect of TE on ITP, WL and MRGscore

To test whether highly engaged participant would be more or less disturbed by interruptions, a one way within subject ANOVA compared the interutibility in the four task-engagement groups. The notification type influenced the disturbance level declared ($F(2,2940) = 563.442$ $p < .001$) Participants who felt more engaged in the exercise declared that they would feel less disturbed by a visual notification ($F(33,293) = 1.667$, $p = .015$) (see Figure 7). The audio-visual notification format was considered as the more disrupting notification format ($F(33,293) = 1.504$, $p = .050$). The results indicated that the notification type has an effect on the perceived interruption level of a task.

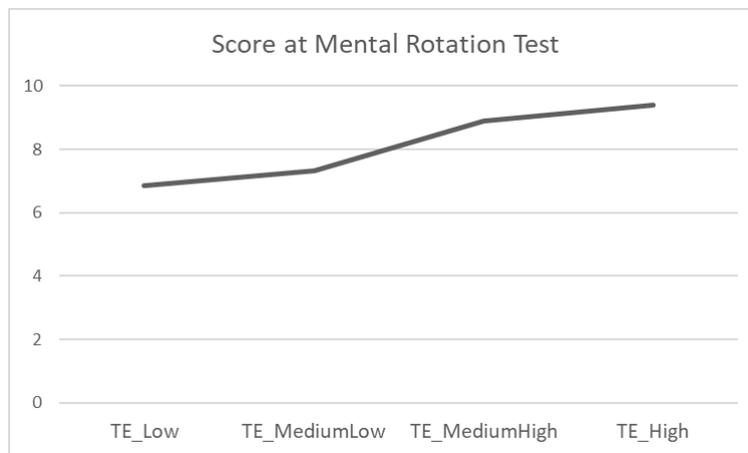


Figure 18 - Variation of the MRscore in function of task engagement groups (from low to high)

A significant negative correlation between TE_concentration means (grouping seven questions of the DSSQ) and the ITP of the mental rotation exercise ($r = -.158$) showed that more concentrated participants would rate the rotation task as less interruptible. Task engagement was also significantly correlated to WL ($r = .195$) showing indeed a moderate relation between the concept of perceived workload and task engagement.

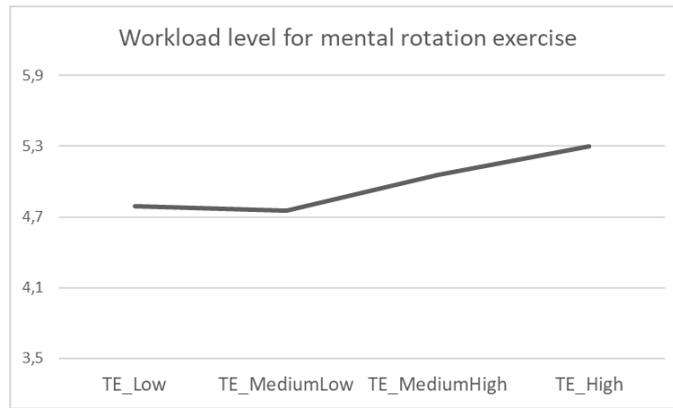


Figure 19 - Variations of WL for the mental rotation game in function of task engagement groups

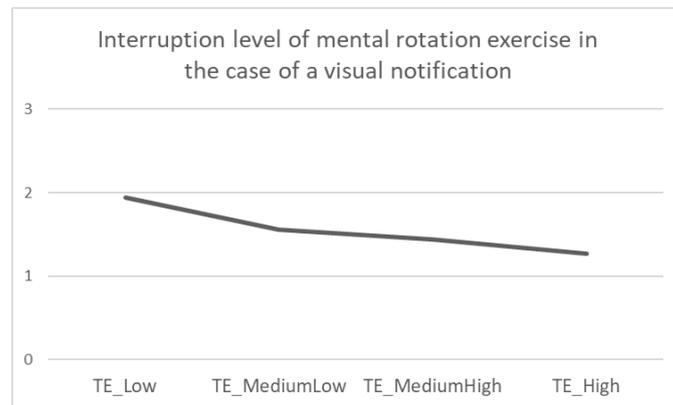


Figure 20 - Variations mental rotation game ITP in the case of a visual notification (ITP_visual) in function of task engagement groups

4. Effect of task and notification type on ITP

Illustrated in Figure 7, significant differences on interruptibility ratings for the question “How disturbing was the system intervention?” were found between watching a video ($t(326)=57.3$, $p<0.001$), reading an article ($t(326)=55.8$, $p<.001$) and doing a mental rotation exercise ($t(326)=43.2$, $p<0.001$).

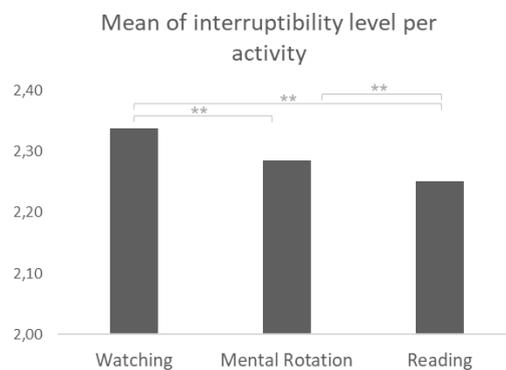


Figure 21 - Interruptibility level differences between activities

Ease with digital technology was significantly negatively correlated with interruptibility (mean of all interruptibility answers for each task and notification type, $r=-.154$).

IV. Discussion

The aim of this pilot study was to explore the use of existing tools to measure task engagement, in order to determine future works on NDRT engagement in the context of a simulator study.

One of the main theories on task engagement implemented in the stress state profiling questionnaire DSSQ (Matthews et al., 2010, 2013) defines three major scales of stress (Distress, Worry and Task Engagement). The concept of task engagement combines 3 sub-factors: concentration, arousal and motivation. The questions are spread into the questionnaire, among the other dimension questions. Considering the length of the questionnaire, we decided to administrate it to only one of the three activities of the study. Task engagement was the most interesting component of the DSSQ, which is why our results are focused on it. Task engagement was correlated to the subjective workload level meaning that participants who declared being highly engaged in the task also felt a high level of workload. Task engagement also seems to predict a low availability of the drivers' attention. People who are highly involved in an activity should usually feel more disturbed by an interruption or should miss a notification. In fact, the participants who declared being highly involved in the mental rotation game rated the disrupting level of a visual notification very low. High task engagement was also associated with better performance which is consistent with the theory that task engagement is a factor of good performance.

Interruptibility was evaluated through the perceived level of disruptance created by a notification. Level of interruptibility is linked to the workload level according to a previous research on the subject (Iqbal & Bailey, 2005). In this study, the mental workload is used to predict opportune moments for interruption of the task. From another point of view, this approach brings evidence on the fact that high workload levels could be associated to a low capacity to correctly respond to external stimulus as a takeover request for instance. Through our online study, we observed that the interruptibility level was different in function of the type of activity. The activity of reading appeared to be the most interruptible while the video watching was the less. These rating differences between each task were highly significant.

We observed through these results that it is possible to measure a level of engagement thanks to a combination of subjective declarations using DSSQ and other variables relative to workload and interruptibility. DSSQ seems to bring precise and deep information but we also experienced that its length slowed the protocol down. Its relevance in the exploration of task engagement brings us to consider using it in the next planned simulator study for each NDRT. Moreover, taking in account the links between workload and interruptibility but also between workload and task engagement and regarding the variation of interruptibility ratings in function of the type of activity, it would be interesting to explore the effect of the type of activity on a driver behaviour in the context on highly automated driving. In fact, these first findings encourage the investigation of the different NDRT engagement impact in the case of control delegation. To consider the possibility to analyse several NDRTs, selecting only the task engagement items from DSSQ could be a solution to reduce the time allocated to completing the questionnaire in a protocol. It will allow to measure task engagement for each NDRT investigated. Thanks to the independent nature of each sub-part of the questionnaire this is possible.

The manipulation of participants' motivation did not show the expected effect (which would have been ...). An explanation could be the method employed to create an incentive instruction which used a competitive way to create motivation. Monetary incentive would have been probably more efficient. Another possible improvement concerns the registration of the type of device used to participate. This study was conducted during the first lockdown in France so we could expect that most participants used a computer. Nevertheless, in the context of this study, the type of device might have affected the willingness to participate and the motivation. Finally, due to a software limitation, the total time to perform the online study was not recorded: it could have been a good measure for performance at the mental rotation exercise and for global information about the study.

V. Conclusion

A combination of several measures of task engagement was tested through this online pilot study. It made it possible to differentiate tasks, that will be performed on board a vehicle in automated mode, depending on the level of interruptibility assigned to them by the participants. There are significant differences between watching a video, reading a news article, and

performing a mental rotation game. For this last activity, a combination of three tools was used to identify their mutual relationships. It seems that this combination is a reliable indicator to assess the effect of different types of tasks on driver engagement, which significantly determines their attentional state. Thus, this pilot study allowed us to determine relevant variables for studying attentional engagement state of a driver. It will be tested within the framework of an experiment on a driving simulator attempting to evaluate the influence of the NDRTs performed on the driver's behavior and performance.

VI. Acknowledgement

The authors would like to thank warmly Heike Martensen for her valuable collaboration to this paper (in the framework of the Young Researcher Seminar organised by ECTRI, FERHL and FERSI). This study was carried out as part of a PhD researches, funded by the Gustave Eiffel University. This research will contribute to a research project lead by the French Delegation of Road Safety about the impact of NDRT in the context of using highly automated vehicles.

VII. References

- [1] Befelein, D., Boschet, J., & Neukum, A. (2018). Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving. 6th international conference on driver distraction and inattention, Gothenburg, Sweden. Retrieved from: http://ddi2018.org/wp-content/uploads/2018/10/S_9.
- [2] Clark, H., & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.027>
- [3] Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B., & Feng, J. (2017). Performance in Takeover and Characteristics of Non-driving Related Tasks during Highly Automated Driving in Younger and Older Drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 37-41. <https://doi.org/10.1177/1541931213601504>
- [4] Dingus, T., Klauer, S., Lewis, V., Petersen, A., Lee, S., Sudweeks, J., Perez, M., Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., Bucher, C., Doerzaph, Z., Jermeland, J., & Knipling, R. (2006). The 100-Car Naturalistic Driving Study : Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment.

- [5] Fogarty, J., Hudson, S. E., Atkeson, C. G., Avrahami, D., Forlizzi, J., Kiesler, S., Lee, J. C., & Yang, J. (2005). Predicting human interruptibility with sensors. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(1), 119-146.
- [6] Fogarty, J., Ko, A. J., Aung, H. H., Golden, E., Tang, K. P., & Hudson, S. E. (2005). Examining task engagement in sensor-based statistical models of human interruptibility. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 331-340.
- [7] Hecht, T., Darlagiannis, E., & Bengler, K. (2020). Non-driving Related Activities in Automated Driving – An Online Survey Investigating User Needs. In T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl, & R. Taiar (Éds.), *Human Systems Engineering and Design II* (p. 182-188). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_28
- [8] Iqbal, S. T., & Bailey, B. P. (2005). Investigating the Effectiveness of Mental Workload As a Predictor of Opportune Moments for Interruption. *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1489-1492. <https://doi.org/10.1145/1056808.1056948>
- [9] Kern, N., & Schiele, B. (2006). Towards personalized mobile interruptibility estimation. *International Symposium on Location-and Context-Awareness*, 134-150.
- [10] Ko, S. M., & Ji, Y. G. (2018). How we can measure the non-driving-task engagement in automated driving: Comparing flow experience and workload. *Applied Ergonomics*, 67, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.10.009>
- [11] Large, D., Shaw, E., & Burnett, G. (2020). Towards Future Driver Training : Analysing Human Behaviour in Level 3 Automated Cars. <https://nottingham-repository.worktribe.com/output/3811742/towards-future-driver-training-analysing-human-behaviour-in-level-3-automated-cars>
- [12] Lee, S. C., Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2020). Effects of Non-Driving-Related Task Attributes on Takeover Quality in Automated Vehicles. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 0(0), 1-9. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1815361>
- [13] Louw, T., Kuo, J., Romano, R., Radhakrishnan, V., Lenné, M. G., & Merat, N. (2019). Engaging in NDRTs affects drivers' responses and glance patterns after silent automation failures. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 870-882. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.020>

- [14] Marberger, C., Mielenz, H., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bengler, K., & Wandtner, B. (2018). Understanding and Applying the Concept of “Driver Availability” in Automated Driving. In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Vol. 597, p. 595-605). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_58
- [15] Matthews, G., Desmond, P. A., Joyner, L., Carcary, B., & Kirby, G. (1997). A COMPREHENSIVE QUESTIONNAIRE MEASURE OF DRIVER STRESS AND AFFECT. *TRAFFIC AND TRANSPORT PSYCHOLOGY. THEORY AND APPLICATION*. <https://trid.trb.org/view/635125>
- [16] Matthews, Gerald. (2016). Multidimensional Profiling of Task Stress States for Human Factors : A Brief Review. *Human Factors*, 58(6), 801-813. <https://doi.org/10.1177/0018720816653688>
- [17] Matthews, Gerald, Szalma, J., Panganiban, A. R., Neubauer, C., & Warm, J. (2013). Profiling Task Stress with the Dundee Stress State Questionnaire. In *Psychology of Stress : New Research*.
- [18] Matthews, G., Warm, J. S., Reinerman, L. E., Langheim, L. K., & Saxby, D. J. (2010). Task engagement, attention, and executive control. In *Handbook of individual differences in cognition : Attention, memory, and executive control* (p. 205-230). Springer Science + Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1210-7_13
- [19] Mouloua, M., & Hancock, P. A. (2019). *Human Performance in Automated and Autonomous Systems : Current Theory and Methods*. CRC Press.
- [20] Olson, R. L., Hanowski, R. J., Hickman, J. S., & Bocanegra, J. L. (2009). Driver Distraction in Commercial Vehicle Operations. <https://trid.trb.org/view/907078>
- [21] Park, J., Jung, E. S., & Im, Y. (2019). 2H1-6 The Effect of Driver Engagement in Autonomous Driving based on Flow Experience. *The Japanese Journal of Ergonomics*, 55(Supplement), 2H1-6-2H1-6. <https://doi.org/10.5100/jje.55.2H1-6>
- [22] Reinerman-Jones, L., Matthews, G., & Mercado, J. E. (2016). Detection tasks in nuclear power plant operation : Vigilance decrement and physiological workload monitoring. *Safety Science*, 88, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.05.002>

[23] Richards, D., & Stedmon, A. (2016). To delegate or not to delegate : A review of control frameworks for autonomous cars. *Applied Ergonomics*, 53, 383-388. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.10.011>

[24] Roche, F., Somieski, A., & Brandenburg, S. (2019). Behavioral Changes to Repeated Takeovers in Highly Automated Driving : Effects of the Takeover-Request Design and the Nondriving-Related Task Modality. *Human Factors*, 61(5), 839-849. <https://doi.org/10.1177/0018720818814963>

[25] Saxby, D. J., Matthews, G., Warm, J. S., Hitchcock, E. M., & Neubauer, C. (2013). Active and passive fatigue in simulated driving : Discriminating styles of workload regulation and their safety impacts. *Journal of experimental psychology: applied*, 19(4), 287.

[26] Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental Rotations, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>

[27] Wandtner, B., Schmidt, G., Schoemig, N., & Kunde, W. (2018). Non-driving related tasks in highly automated driving—Effects of task modalities and cognitive workload on takeover performance. *AmE 2018 - Automotive meets Electronics; 9th GMM-Symposium*, 1-6.

[28] Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018a). Effects of Non-Driving Related Task Modalities on Takeover Performance in Highly Automated Driving. *Human Factors*, 60(6), 870-881. <https://doi.org/10.1177/0018720818768199>

[29] Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018b). Secondary task engagement and disengagement in the context of highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.001>

4. Résultats complémentaires

Des tests statistiques supplémentaires ont été réalisés pour étudier plus précisément les résultats obtenus à travers les questions d'interruptibilité. Pour chaque tâche, les participants devaient répondre à trois questions. Chacune décrivait comment l'interruption apparaîtrait :

- Le système communique une information de navigation par un message auditif. (Modalité « Voix »)
- Le système communique une information de navigation par un bip et une information visuelle à travers une pop-up sur l'écran central du cockpit. (Modalité « Bip + Visu »)
- Le système communique une information de navigation uniquement par un pop-up visuel sur l'écran central du cockpit. (Modalité « Visu »)

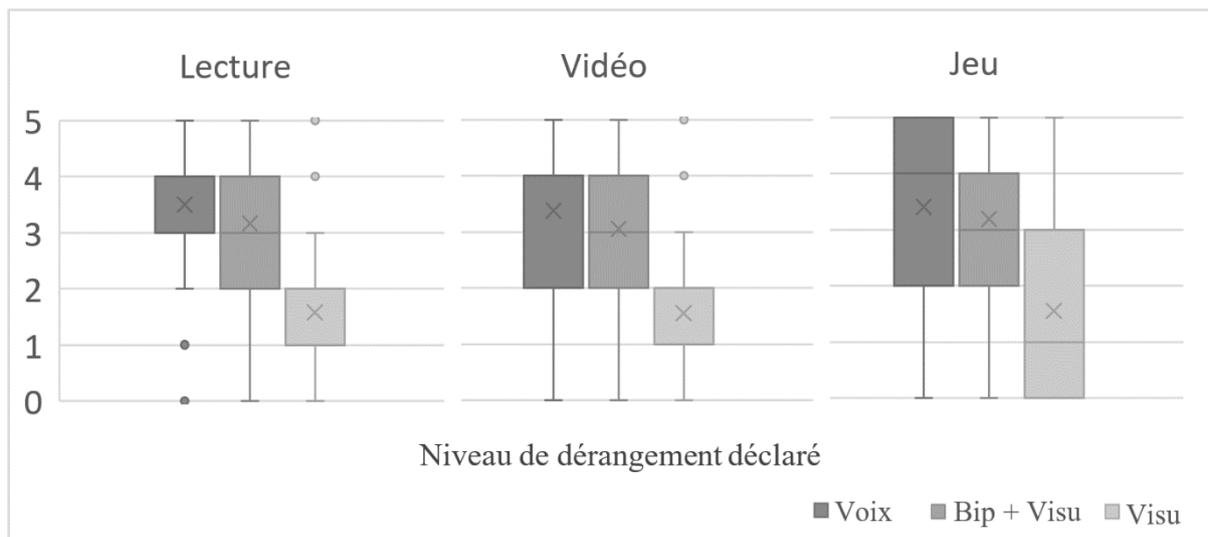


Figure 22 : Niveau de dérangement imaginé si une information de navigation était apparue pendant la tâche que les participants venaient de réaliser

Ces différences observées entre tâches en fonction des modalités permettent de mieux expliquer les résultats illustrés en figure 22. Pour rappel, lorsque le dérangement est haut, le niveau d'interruptibilité de la tâche est évalué comme faible. En effet, plus la personne se sent dérangée, plus l'effort pour interrompre la tâche est important et donc la tâche pas facilement interruptible. La figure 23 permet de mieux comprendre deux phénomènes. Tout d'abord, la modalité « Voix » est le facteur différenciant entre la vidéo et la lecture. En effet, les

participants se sont déclarés plus à l'unanimité hautement dérangés si une interruption était survenue pendant la lecture. Ce résultat ne suit pas la théorie des ressources multiples de Wickens qui aurait prédit un plus fort dérangement lorsque deux informations de modalités similaires se seraient présentées bien que l'évaluation du dérangement associée à la vidéo reste relativement haute (Wickens, 2002). Ensuite, les réponses données dans le cas du jeu de rotation mentale comportent davantage de dispersion, expliquant sa position médiane dans les résultats obtenus.

B. Comment le facteur humain devrait-il être pris en compte dans l'étude de la reprise en main d'un véhicule hautement automatisé ? Une expérimentation en simulateur de conduite (Article 3)

1. Résumé

Dans la littérature scientifique actuelle s'intéressant à la conduite hautement automatisée, un modèle des phases de transition entre système et conducteur est assez récurrent en conditions simulées. Le conducteur fait généralement face à une situation routière critique voire très critique, pour laquelle il devra apporter une réponse en quelques secondes afin d'éviter l'accident fatal. Avant cet événement, il aura été plongé dans une ou plusieurs Non-Driving-Related Tasks qui lui aura demandé toute son attention. Les analyses effectuées pour évaluer la performance du conducteur à reprendre le véhicule après une phase d'inattention sont également souvent similaires. Il s'agit du temps de pose des mains sur le volant, du temps que le conducteur a mis pour poser son regard sur la route ou encore du temps qu'il a mis pour actionner la bonne pédale (frein ou accélérateur en fonction de la situation). En plus de ces mesures de temps, des mesures qualitatives sont réalisées. Ce sont des mesures de conduite enregistrées sur les quelques centaines de mètres qui suivent sa reprise de contrôle du véhicule, telles que la trajectoire du véhicule, la variation de l'accélération ou du freinage. Les données comportementales ou cognitives sont moins systématiques. Le présent article décrit les travaux ayant eu pour but de proposer une analyse et une compréhension plus approfondies du rôle du facteur humain dans la réalisation d'une transition de contrôle entre un véhicule hautement automatisé et un conducteur lancé jusque-là dans des activités non relatives à la conduite. Ils épousent un cadre théorique construit autour de l'étude de l'implication des mécanismes d'engagement, de désengagement et de réengagement dans cette action, déterminants de l'état cognitif dans lequel se trouvera le conducteur lorsqu'il devra effectuée la reprise de contrôle de son véhicule. Notre concept met en avant le caractère progressif d'une transition de contrôle du point de vue de la cognition, contrairement à la description plus classique et techno-centrée existante. Du point de vue de l'humain, considérer les processus cognitifs en jeu uniquement à l'aulne des phases successives du système n'offre pas une vision complète des enjeux de la

transition de contrôle. En effet, le désengagement de la NDRT en cours puis le réengagement dans la tâche de conduite sont des processus chacun distincts et progressifs qui peuvent même se juxtaposer pendant un certain temps. Ainsi, il est nécessaire de ne pas seulement se cantonner aux mesures techniques (notamment de temps et de conduite) du système, qui restent tout du moins indispensables, pour une analyse complète de la transition de contrôle. Nous proposons à travers l'expérimentation sur simulateur de conduite décrite ci-dessous d'étudier la transition de contrôle en prenant en compte l'incidence des NDRTs sur la capacité du conducteur à se désengager de celles-ci pour se réengager dans l'activité de conduite. Nous étudions particulièrement s'il existe des variations de l'engagement en fonction de différents paramètres associés à la tâche. Les résultats montrent que le type de tâche influence les stratégies d'interruption choisies par le conducteur lors de la reprise en main. Ils montrent également que le déroulement de la phase de désengagement a davantage d'influence sur la qualité de conduite du participant que la phase d'engagement dans la tâche. Cependant, les participants les plus engagés dans leur NDRT sont ceux qui ont les temps de réaction les plus courts lors de la demande de reprise en main. Ces résultats montrent la distinction entre réagir et être pleinement engagé dans une nouvelle tâche. Ils semblent indiquer qu'au-delà de la tâche même, c'est le niveau d'engagement qui peut entraîner des comportements inappropriés et particulièrement, contrairement à ce qu'on pourrait croire, lorsque ce niveau est faible. Nous avons également pu constater que l'appétence à l'égard de la NDRT compte dans l'influence de cette NDRT sur le comportement du conducteur, comme le montre l'effet de la préférence sur le niveau d'engagement déclaré. Nous retenons de ces travaux qu'un fort engagement dans une NDRT est associé à de bon temps de réaction, bien que la surveillance de l'environnement routier soit dans ce cas très bas. En revanche, cela ne garantit pas la qualité de la conduite qui, elle, semble plus liée à la stratégie d'interruption.

2. Méthode et matériel : informations complémentaires

Le simulateur de conduite

Le simulateur de conduite (LESCOT – PICS-L) utilisé dans le cadre de ces travaux se compose d'une cabine de Peugeot 308 instrumentée à l'aide de capteurs installés sur les organes de commandes et utilise le bus de communication (bus CAN) du véhicule pour traiter les informations du tableau de bord.

La projection de la simulation est réalisée à l'avant sur 5 écrans formant un angle de 180°, 2 écrans à l'arrière pour les vues latérale droite et arrière, ainsi que des écrans pour les rétroviseurs latéraux. Un système de restitution quadriphonique placé dans la cabine permet de diffuser les sons du véhicule (moteur, roulement, frottement, démarreur, ...) et les sons externes spatialisés comme le bruit trafic. Un autre système de diffusion 5.1 disposé à l'extérieur de l'habitacle permet de diffuser les ambiances sonores (villes, campagne, etc.). Le simulateur est basé sur l'architecture OSGSIM2, qui s'appuie sur le modèle de trafic ARCHISIM de PICS-L. OSGSIM2 intègre des outils d'aide pour la création des différents composants informatiques (bases de données ou fichiers) nécessaires à la description de l'environnement et du déroulement des expérimentations. Un certain nombre de mesures de conduite peuvent être réalisées grâce aux capteurs apposés sur le simulateur comme l'évolution de la position latérale du véhicule par rapport à l'axe central de la route ou encore la vitesse du véhicule, la variation de l'angle du volant, de l'enfoncement des différentes pédales, etc.

Scenarios

Les participants ont chacun expérimenté quatre scénarios de conduite. Chaque scénario contenait deux circuits. Chaque circuit était construit sur la même base selon la séquence suivante : phase de conduite manuelle, phase de conduite autonome, demande de reprise en main, reprise en main, conduite manuelle. La première conduite manuelle pouvait s'étendre de quelques secondes à 4 minutes. La phase de conduite autonome durait en moyenne cinq minutes avec une variabilité d'une minute. Les participants disposaient de vingt secondes pour reprendre

en main le véhicule à partir du déclenchement de l'alerte jusqu'au moment où le véhicule s'arrêterait automatique en mode sécurité sur le bas-côté.



Chaque participant a donc expérimenté 8 situations de reprise en main. Une reprise en main pouvait être requise pour les raisons suivantes :

- Une entrée ou sortie d'autoroute nécessitant une manœuvre de sortie ou d'insertion
- Un obstacle sur la route (des travaux ou un véhicule arrêté sur le bas-côté) entravant les conditions de circulation.

Lors des instructions avant le lancement de l'expérimentation, les participants ont été informés que le système de conduite automatisée se désactivait par l'enfoncement d'une des pédales (frein ou accélérateur). Ils ont pu découvrir et s'entraîner sur le simulateur lors d'un scénario prévu à cet effet avant le début de l'expérimentation. Ce scénario d'entraînement leur a également permis de découvrir le système de communication du véhicule (pictogrammes et sons).

Les Tâches de Vie à Bord

Pendant les phases de délégation de conduite, il a donc été demandé aux participants de réaliser différentes activités qui ont été identifiées comme faisant partie des plus courantes dans cette situation. Trois grands types d'activités, toutes sur smartphone ont été réalisées par l'ensemble des participants :

- La lecture d'un ou plusieurs articles à disposition en format pdf (un article de vulgarisation scientifique sur les mécanismes psychologiques de la peur, un autre sur le moustique tigre et un troisième sur le déroulement de la catastrophe de Tchernobyl) ;
- Le visionnage d'une vidéo documentaire de la série française Arte « Tu mourras moins bête » ;

- Le jeu vidéo Tetris en mode facile et en mode difficile sur l'application mobile « TetrisGame » reproduisant l'interface classique du jeu Tetris.

3. Contenu de l'article

HOW TO TAKE HUMAN FACTORS INTO ACCOUNT IN THE CONTEXT OF HIGHLY-AUTOMATED DRIVING? A SIMULATOR STUDY

Jaussein Marie

TS2-LESCOT, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR, Univ Lyon, F-69675 Lyon, France, m.jaussein@gmail.com

Tattegrain H el ene

TS2-LESCOT, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR, Univ Lyon, F-69675 Lyon, France, helene.tattegrain@univ-eiffel.fr

Marin-Lamellet Claude

TS2, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR, Univ Lyon, F-69675 Lyon, France, claude.marin-lamellet@univ-eiffel.fr

ABSTRACT

The abundance of literature on the subject of taking over the control of a highly automated vehicle illustrates the challenges presented by this new driving action. The most frequently used technocentric approach has established the domination of a takeover model which is centred on the states of the system. In this work, we stress the importance of taking the human factor into account during this new driving action. We study this by investigating the variations of engagement mechanisms as the transition of control progresses. We define three main stages experienced by the driver: the state of engagement in a non-driving-related task, disengagement from the same task, and finally reengagement with the driving task. During an experiment on a driving simulator, 44 participants were placed in situations where they regained control after phases of automated driving. A panel of measurements was used to evaluate each of the states experienced by the driver. The results showed that the type of task influenced the interruption strategies chosen by the driver during takeover of control. They also showed that the progress of the disengagement phase had more influence on the quality of the takeover than the task engagement phase. However, the participants who engaged the most in their non-driving-related task also had the fastest reaction times when a takeover request was made. These results show the distinction between reacting and being fully engaged in a new task.

Keywords: Non-Driving-Related Task, Task engagement, Takeover, Interruptibility, Human-centred design

I. Introduction

1. Motivation

In the current scientific literature on highly automated driving, a recurrent pattern of analysis of the transition phases between the system and the driver is observed in simulated conditions. Drivers are placed in a critical or even very critical road situation, to which they have to provide a response within a few seconds in order to avoid a fatal accident (Naujoks et al., 2018b; Zhang et al., 2019b). Prior to this event, they are immersed in one or more Non-Driving-Related Tasks (NDRT) that require their full attention. Just as the same experimental model is often used, the same analyses are frequently carried out to evaluate the driver's takeover performance. Firstly, different driver-related reaction times are recorded. These provide information on the time taken by a driver to react to the takeover request. This includes the time taken to place the hands on the steering wheel, the time taken to look at the road, and the time taken to operate the correct pedal (brake or accelerator, depending on the situation). In addition to these time measurements, qualitative measurements are also recorded. These are driving measurements recorded over the few hundred meters following the takeover, such as the trajectory of the vehicle, and variations in acceleration and braking. It is interesting to note that in these studies, human measurement, if it occurs at all, is often secondary. In a previous review, we showed that only a few of the total number of studies which have examined this driving situation have evaluated behavioural or cognitive data and considered them as determinants of takeover performance (Jaussein et al., 2021). Two reasons can be given to explain this. The first is that the arrival of technology has driven an explosion in research on this subject. Studies are therefore mostly techno-centric: they try to answer questions about the efficiency and robustness of a technological function in different driving situations. The second is linked to the high level of criticality of the scenarios constructed. Very often, the scenario only offers the driver one type of situation, which is always critical, leaving only a few seconds (3 to 8 seconds) in which to take over control of the vehicle. In this context, behaviours are fairly homogeneous, because humans operate in a similar way in situations of extreme difficulty. However, we know today that the road environment is diverse. We also know that takeover situations are not always, or even not very

often, critical, because the best option is probably to program an automatic manoeuvre which ensures the safety of the vehicle when a critical situation occurs.

Lu *et al.* built a scale which illustrates the diversity of cases that a driver encounters in the context of taking over control of a vehicle (Lu et al., 2016). They argue the importance of considering the human factor in order to better define and understand this interaction between Human and Machine.

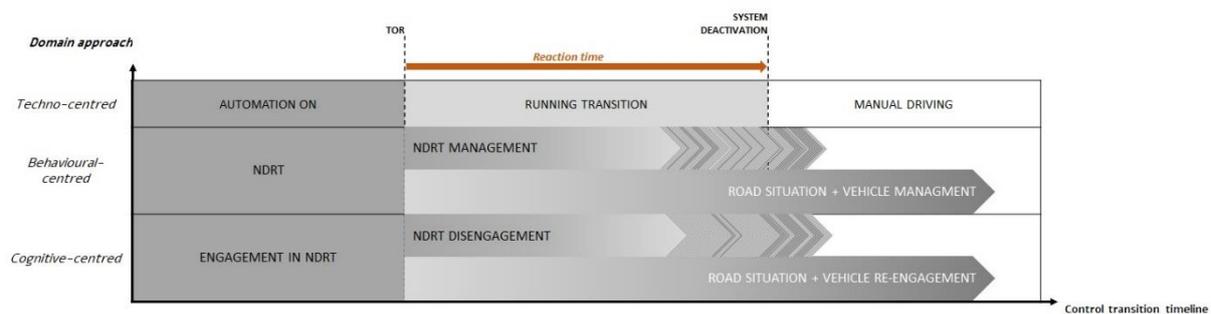


Figure 23 : Illustration of different ways to investigate a control transition, from system to driver (Jaussein et al., 2021)

Our study focuses on the transition of control from the human perspective. We distinguish different stages of the transition based on the evolution of the mechanisms involved in a driver's engagement in an NDRT, and we apply different measurements to these mechanisms. In this study, we consider a situation in which drivers are engaged in an NDRT when the autonomous mode is activated. We distinguish three main driver states which compete with the system states used to model a transition phase (Figure 1). Firstly, the driver is engaged in an NDRT. Upon receiving an alert that a takeover is required, the driver initiates two concurrent phases: disengagement from the NDRT and initiation of reengagement with the road situation and driving activity. As disengagement from the NDRT is completed, reengagement with the road situation reaches its full capacity. Based on the assumption that these phases are progressive and independent of the system state, it seems essential to collect measures specific to these different driver states in addition to those reported by the system.

A number of previous studies have identified NDRT engagement mechanisms as important factors in takeover performance (Ko & Ji, 2018a; Louw et al., 2019; Tanshi & Söffker, 2019a; Wandtner, Schömig, et al., 2018b). These studies used different methods to explore NDRT engagement. Some of them used a subjective assessment of workload level, while others used

the interruptibility theory (Befelein et al., 2018b; B. C. Lee & Duffy, 2015; Roche et al., 2019a) or combined different on-board behaviour variables (Wandtner, Schmidt, et al., 2018b; Wandtner, Schömig, et al., 2018c; Wu et al., 2020; Yoon & Ji, 2019b) to investigate variations in NDRT engagement and their impact on driving performance. According to researchers, interested in the impact of stress on performance, task engagement is one of the key factors. They have therefore studied this, and constructed a measurement scale based on variations in three sub-factors: energy arousal, concentration and motivation. A combination of these different measures of task engagement was tested in a previous pilot study. The measures of interruptibility, workload and task engagement, as defined by Matthews et al. (1999), were combined in this pilot study. This combination seems to be an interesting indicator in the evaluation of the effects of different types of task on driver engagement, which significantly determines driver state at the time of a takeover.

The measures of engagement and disengagement in our study are therefore derived from two distinct works: a review of the literature, which identified research which used variables related to driver behaviour or cognition to study takeover situations in simulated conditions (Jaussein, Lévêque, et al., 2021b); and a pilot study whose objective was to investigate the relevance of different known engagement factors or co-variables and determine their compatibility with our research (Jaussein et al., *Under Review*). The independent variables described below are the result of this work.

2. Objectives

The aim of this study is to put forward an approach which enables a better analysis and understanding of the role of the human factor in the performance of a control transition between a highly automated vehicle and a driver engaged in an NDRT. The theoretical framework was built based on the involvement of the mechanisms of engagement, disengagement and reengagement in this action, as these determine the cognitive state drivers when they have to take back control of their vehicle. Unlike the existing, more classical and techno-centric description, our concept emphasizes the progressive nature of a control transition from the cognitive point of view. From a technological point of view, three main phases follow one another. Firstly, the system is in autonomous mode. Then, from a given moment triggered by a

takeover request, it goes into a transition mode where it is still in control but is waiting for the driver to take over control of the vehicle. And finally, it finishes by the deactivation of the autonomous mode and enters a state of delegation of control to the driver. From the human point of view, it is not reasonable to consider the cognitive processes involved only in terms of the successive phases of the system. The disengagement from an ongoing NDRT and the subsequent reengagement in the driving task are each distinct and progressive processes which may even overlap for some of the time. It is therefore necessary to go beyond the technical measures of the system (especially regarding time and driving), although these remain indispensable for a complete analysis of the control transition. Our objective in this experiment on a driving simulator is to study control transition by considering the impact of NDRTs on a driver's capacity to disengage from these, and to reengage in driving activity. In particular, we look at whether variations in engagement occur in relation to parameters such as the type of task or its difficulty. Our approach is based on the three stages of the commitment processes identified in our work on the transition of control (see the "cognitive-centred" level of the domains in the figure below).

II. Material and methods

1. Participants

44 participants (23 males, 19 females) with an average age of 37 years participated. All were experienced drivers, in possession of a driving license for more than three years. Driving habits ranged from infrequent to daily. 50% reported driving every day, 32% several times a week, and 18% very rarely. Data from four participants were excluded from the analysis due to a malfunction of the simulator.

2. Equipment

The experimental room where participants carried out the experiment was equipped with a driving simulator composed of screens, speakers, steering wheel and pedals (Figure 2). The simulator consisted of a full car equipped with sensors installed on the controls, and used the vehicle's communication bus (CAN bus) to process the information on the dashboard.

The simulation was projected from the front onto 5 screens forming an angle of 180 °, 2 screens at the rear for the right side and rear views, as well as screens for the side mirrors. A quadraphonic reproduction system placed in the cabin made it possible to broadcast the sounds of the vehicle (engine, rolling, friction, starter, etc.) and external spatialized sounds such as traffic noise. Another 5.1 broadcast system located outside the passenger compartment allowed the soundscapes (cities, countryside, etc.) to be broadcast. The simulator was based on OSGSIM2 architecture, which is based on the ARCHISIM traffic model from PICS-L (UGE laboratory). OSGSIM2 Integrates support tools for the creation of the various computer components (databases or files) necessary for the description of the environment and the progress of the experiments.

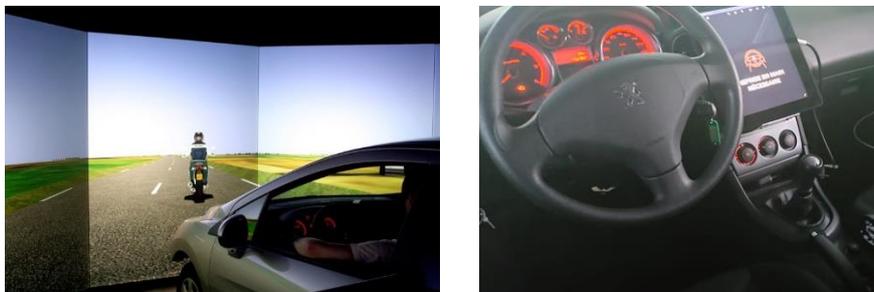


Figure 24 : Illustration of the simulator used for the experiment

3. Material

ROAD information support

Navigation information was communicated through a central screen, a Windows touchscreen tablet, added to the centre of the dashboard (Figure 2). A relatively neutral interface was chosen. A pictogram showed participants whether the car was in manual or autonomous mode (Figure 3). The interface also communicated to participants the option of delegating control to the system when the road environment was deemed compatible. To launch the autonomous mode, participants had to touch the pictogram on the central screen indicating that the autonomous mode was available. When the autonomous mode was activated, the pictogram activated by this mode was displayed. Finally, when a takeover request occurred, an alert also appeared in the form of a pictogram, specifying the reason (motorway exit, roadworks detected, obstacle on the road). Each event was accompanied by its own sound.



Figure 25 : Illustration of the communication system through the central screen

Support for Non-driving-related tasks and questionnaire completion

Participants were asked to fill in a questionnaire before starting the simulation, and another questionnaire after all scenarios had been completed. These pre-simulation and post-simulation questionnaires were completed on a computer in a side room. Other questionnaires were filled in during the simulation phase (never while driving, always during stop-breaks at the side of the road). A Huawei smartphone with a 5.97 inch screen was used for the NDRTs and for filling in questionnaires during scenarios. During the driving delegation phases, participants were asked to perform different activities (Figure 4) that were identified as being among the most common in this situation. Three main types of activity were performed on the smartphone by all participants:

- The reading of one or more articles available in pdf format (an article on the psychological mechanisms of fear, another on the tiger mosquito and a third on the Chernobyl disaster);
- Watching a documentary video from the French TV show "Tu mourras moins bête" which explains scientific concepts and news through cartoons;
- The Tetris video game in easy and difficult modes on the mobile application "TetrisGame" reproducing the classic Tetris game interface.

Participants were instructed to read the article of their choice during the driving delegation phase.



Figure 26 : Illustration of the ndrts (reading an article, watching a video and playing the tetris game)

The smartphone was presented to participants at the beginning of the experiment, to familiarize them with the device and its use.

4. Procedure

A recruitment process was applied for all participants. They were informed of the experiment on the Gustave Eiffel University website either through social networks or through internal and external mailing lists. Each potential candidate for the experiment received an information pack concerning the global development of the experiment, and they all filled in a profile questionnaire. The latter made it possible to select candidates who corresponded to the criteria set beforehand: possession of a driving licence, being an experienced driver, with an upper age limit of 60 years. Once this first step was completed, eligible and interested candidates were invited to participate during the time slot of their choice. The experiment was carried out between October 2020 and February 2021.

Participation lasted around 2 hours per person on the day of the experiment (variability was due to the time taken to complete the different questionnaires). The interview was divided into 4 main stages. In the first stage, we welcomed the participant, and dealt with administration. Each participant received an allowance of 50€ in exchange for participation. The experimenter reminded the participant of the experimental process which had been presented previously by email. Finally, the participant had to fill in the first questionnaire concerning general profile, driving profile and digital profile. The second step consisted of introducing the participant to all the equipment which would be used during the test. A general presentation of the functioning of the smartphone and of the activities that the participant would be asked to perform was given

first. The participant was also given time to become familiar with the Tetris game and learn how to play it. A level of difficulty was set, based on the individual level of each participant. In order to do this, the experimenter played several short games with the participant, increasing the level with each new game for as long as the participant did not lose. When the participant lost, the level below that was established as the level of difficulty.

Once the participant felt comfortable with the smartphone, a training period on the simulator took place. During this training phase, the participant encountered all the scenarios of the experiment: manual driving, delegation of control, the activated autonomous mode phase, and taking control of the vehicle when the takeover request occurred. A final reminder of the main instructions was given before starting the experiment: the participant had to accept the autonomous mode when it was proposed, and had to start the activity indicated on the information sheet provided. The driving scenes took place on motorways and in suburban areas. The control delegation mode could be launched on motorways and national roads.

Each participant encountered eight recovery situations, all of which were non-critical (the participant had between 18 and 22 seconds to recover). Each of the eight sessions began with manual driving.

Each manual driving session was then followed by a phase in driving delegation mode. This phase lasted from 5 to 6.5 minutes, during which participants performed one of four NDRTs: Reading, Watching a video, Playing easy-level Tetris, and Playing difficult-level Tetris. At the end of this driving delegation phase, participants were required to take back control for one of three possible reasons: a motorway exit, road works, an obstacle on the road. Each time participants performed a takeover they had to drive the vehicle manually for 1 to 2 minutes and were then asked to fill in a questionnaire to evaluate their commitment to the NDRT they had performed just before the takeover. Participants could also rate their takeover performance and report how critical they felt the situation was. Each session lasted approximately 10 to 15 minutes. There was a 10-minute break after the fourth session. After the 8 sessions, each participant completed a post-simulation questionnaire in which they evaluated their level of motivation, commitment and appetite for the different NDRTs performed.

III. Data acquisition and analysis

The independent variables were: the type of NDRT (Reading, Video, Easy Tetris, Difficult Tetris), and the expected recovery manoeuvre (straight line with overtaking, turning, stop before manoeuvre). The dependent variables were multiple. On-board behaviour, driving and questionnaire reporting variables were all recorded. They are reported and detailed in Table 1. The gaze variables and time variables related to drivers' arm movements (smartphone manipulation, touching the central screen, placing hands on the steering wheel) were derived from manual video coding. The rest of the variables were derived from the simulator data (60Hz). The statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics Software. A combination of ANOVAs, correlation tests and regression analysis were applied to the data.

As mentioned in the first section, the DSSQ contains three main scales: Task Engagement, Worry, and Distress. In our study, which aims to evaluate task engagement, and in line with results obtained in a previous pilot study, only the parts of the DSSQ which concern task engagement were administered to participants (Jaussein et al., 2021). The sub-factors of engagement were energetic arousal, motivation and concentration, and corresponded to 30 items. The DSSQ was administered in three steps: firstly, in the pre-simulator questionnaire, participants answered the section on energetic arousal, then, after each session participants answered the motivation section and finally, the concentration section for each type of task. A calculation based on Matthews' works was applied to these three factors and provided a final level of task engagement (Matthews et al., 1999). The subjective interruptibility level of each task was evaluated by the participant through a 5-item-questionnaire tested in our previous pilot study (Jaussein et al., *Under Review*). Each answer was measured by a five-point-Lickert-scale ranging from "Not at all" to "Extremely". The items questioned the participant about disruption, respect and annoyance. The design used to measure the level of disturbance felt by participants in relation to the alert was inspired by previous research (Fogarty, Ko, et al., 2005; Kern & Schiele, 2006). An interruptibility score was calculated in this way. The NASA-TLX questionnaire (Hart & Staveland, 1988) is often used to measure task engagement in NDRTs during HAD (Clark & Feng, 2017; S. C. Lee et al., 2020b; Roche et al., 2019a). It was

administrated to participants at the end of each session and they were instructed to answer each item in relation to the last NDRT carried out.

<i>Variable Type</i>	Dependent variable	Description
<i>On-board behaviours</i>	Gaze_road	Number of gazes at the road during NDRT
	Gaze_CS	Number of gazes at the CS during NDRT
	Gaze_NDRT	Number of gazes at the SP in the minute following a TOR
	Manip_SP	Manipulation/non-manipulation of the SP after TOR (Binary)
<i>Take-over times</i>	Initiate_SP_release	Time from TOR to first movement to release SM
	SP_released	Time from TOR to total release of smartphone
	Hand_on	Time from TOR to first hand on SW
	Eyes_on_road	Time from TOR to first gaze at the road
	Push_pedal	Time from TOR to first push on the pedal
	Deactivation	Time from TOR to system deactivation
	<i>Take-over quality</i>	Long_min
Long_StD		Speed square standard deviation over the 8s following the system deactivation
Lat_StD		Standard deviation of the steering wheel angle upon the 8s following the system deactivation
Interrpt_level		Mean of QR items with ponderation
<i>NDRT engagement</i>		Tlx_variable
	DSSQ_TE	Calculation applied to QR items
	Criticality	Answer to the relative question for each TO
<i>Other subjective ratings</i>	Self_performance	Answer to the relative question for each TO
	Self_attention_level	Answer to the relative question

IV. Results

1. Behavioural and driving data

In order to explore the different behavioural and driving data, we began by applying statistical analyses to observe the links between them. We found several correlations which indicate their closeness, and a general logic in the results obtained through these variables. Table 2 details these correlations.

Results of these initial analyses indicated a link between observable driver behaviours and performance in regaining vehicle control. For example, the number of gazes at the road during an NDRT correlated with several variables. One of these variables was the time taken for participants to initiate the movement of letting go of the smartphone. For reasons of simplicity, we refer to this variable as ‘smartphone release’ throughout our present study. This variable indicated that the more drivers monitored the road environment, the less time it took them to initiate letting go of the smartphone after the takeover request.

<i>Pearson's Correlations</i>	Initiate_S P_release	Hand_on	Eyes_on_road	Push_pedal	Lat_Std	Long_min	Deactivation	Gaze_road	Manip_SP
Initiate_SP_release	1	,553**	,463**	0,020	,144**	-,251**	,364**	-,130*	,277**
Hand_on		1	,588**	0,036	,001	-,112†	,596**	-,304**	,312**
Eyes_on_road			1	-0,019	,131**	-,178**	,480**	-,211**	,260**
Push_pedal				1	-,037	-,159**	0,100	0,023	-0,028
Lat_StD					1	-,292**	,001	,009	,044
Long_min						1	-,156**	-0,029	-,139*
Deactivation							1	-,217**	,173**
Gaze_road								1	,057
Manip_SP									1

LEDENG: *: THE CORRELATION IS SIGNIFICANT AT LEVEL 0.05 (BILATERAL); **: THE CORRELATION IS SIGNIFICANT AT LEVEL 0.01 (BILATERAL); †: A tendency of significant correlation is observed (Between 0.051 and 0.057)

Figure 27 : Pearson's correlation between behavioural and driving variables

Deactivation time also correlated highly with several variables, such as: the maximum longitudinal input; the time between the takeover request and initiation of smartphone release; the placing of hands on the steering wheel; looking at the road; number of times the smartphone was manipulated after taking over control of the vehicle, and the number of gazes at the road.

This last variable correlated negatively with deactivation time. The more participants looked at the road during the NDRT, the less time it took them to regain control of the vehicle. Drivers' behaviour, especially with the smartphone, seems to have had an effect on their reaction times. Regarding the quality of takeover, the longer participants took to react, the harder they braked in the 8 seconds after regaining control of the vehicle. A significant regression equation was found for the time taken to initiate smartphone release and the longitudinal minimum input ($F(1,285) = 19.147, p < .001$) with an R^2 of .63. Finally, results showed that participants who tended to manipulate their smartphone after regaining control of the vehicle also braked harder than the others and showed greater lateral deviation. A gender effect was found on the number of gazes at the road during the NDRT: women looked a little bit more at the road than men ($F(1,285)=6.716;p=.01$) and especially during the tetris sessions.

2. Task type effect

A slight tendency in the ANOVA results indicates that the longitudinal standard deviation was influenced by the type of task as presented in Figure 5.B. The video watching is associated to the higher variations of the driving longitudinal aspects ($F(1,286)=3.603, p=0.059$). However, it is interesting to notice that the video watching was also associated to the higher number of road gazes. Due to these results, ANOVAs were also used to test the effect of task type on the tendency to manipulate the smartphone after regaining control of the vehicle. The results showed that the participants manipulated more the smartphone after the video watching sessions ($F(3,310) = 14.611, p < .001$) compared to the other NDRTs. In fact, it would appear from all the video sessions watched during the experiment, that participants manipulated the smartphone within 30 seconds of taking control of the vehicle more than 80% of the time (Figure 5.C).

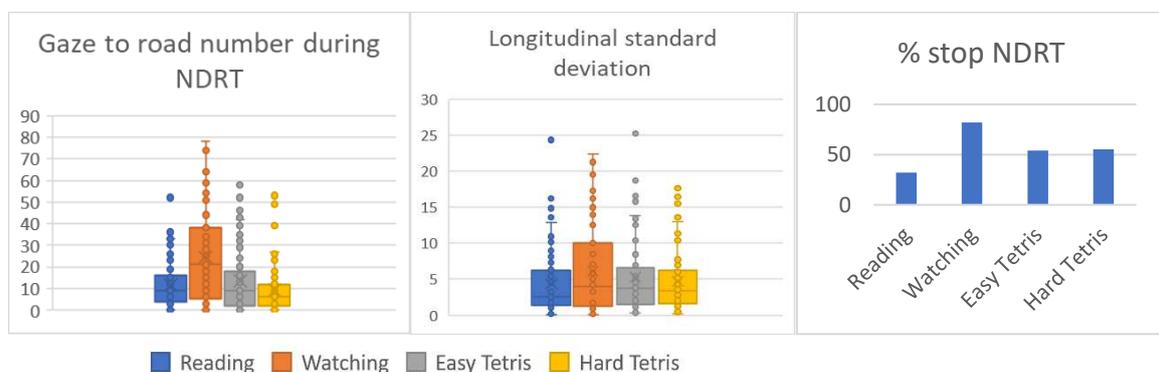


Figure 28 : Illustration of task type effects on the number of gazes at the road during the ndrt (a), on the speed standard deviation over the 8 seconds after the system deactivation (b) and the tendency to manipulate the smartphone after takeover (b)

In almost all cases, the aim of this manipulation was to turn off the video which the participants had not stopped when they put the smartphone onto the passenger seat. It is, however, interesting to note that watching a video was also associated with a higher number of gazes at the road. Two participants kept the smartphone on their knees and one kept it in one hand while taking over control of the vehicle with the other hand. The amount of smartphone manipulation remained at a high level for the Tetris (easy and difficult) game, and was observed in just over 50% of cases. It is also important to remember that participants knew that shortly after a takeover, the experimenter would ask them to stop the vehicle to respond to a questionnaire. They therefore had a only small window in which to manipulate the smartphone in good conditions. However, many of the participants did not wait for the pause to do so.

It is also interesting to note that there were differences between the two levels of Tetris. The difficult Tetris sessions were associated with better response times and driving control, while the Easy Tetris sessions were associated with a longer time taken to deactivate the system ($F(3,298) = 3.638, p=.013$).



Figure 29 : Illustration of the effect of task type on the time taken from the takeover request to initiation of smartphone release (A), the time taken to look at the road (B) and the time taken to reach system deactivation (C) in seconds

An effect of the task type was also found on the time taken to initiate smartphone release ($F(3,310) = 4.483, p = .004$), on the time taken to regain control ($F(3,310)=3.638, p<=0.013$) and the time taken to direct the gaze towards the road ($F(3,310)=16.63, p<0.001$). Tests on these two variables showed similar results: the longest response times were observed after the easy tetris

sessions; the second longest response times came after watching a video; the shortest response times were observed after reading. For each of these three variables, the gap observed in response times was larger between easy Tetris and the other types of task (Figures 6.A, 6.B and 6.C).

3. Subjective measures of engagement

A general correlation was observed between the variables on the DSSQ task engagement scale (DSSQ-TE), interruptibility and workload. The DSSQ-TE correlated highly with the declared workload ($r = .277$, $p < .001$), and with the interruptibility part of the questionnaire on how participants would have felt if an interruption had occurred during the NDRT ($r = .269$, $p < .001$), irrespective of the modality of the interruption (voice, beep and pop-up on the central screen, or pop-up only). The part on interruptibility also correlated with the nasa-tlx scale workload level ($r = .145$, $p = .010$). Participants also reported a high level of annoyance when they declared a high level of workload ($r = .256$, $p < .001$). However, no correlations were found between DSSQ-TE and the interruptibility question which asked participants how respectful they found the system intervention requesting a takeover. These results indicate that participants clearly differentiated the reasons for an interruption when they rated it.

DSSQ Task engagement scale

A calculation was applied to the primary scale of task engagement (TE) (energetic arousal, concentration and motivation) to normalise this. The task engagement variable respects the standard normal distribution ($m = 0.02$). No significant effect of task type was found on TE. However, participants were asked to categorize tasks - from the one they preferred the most to the one they preferred the least - and preference had an effect on TE ($F(2,311) = 5,441$, $p = .005$). When the task was classified as the most attractive one, the TE declared through DSSQ scale was higher.

Because of the distribution of the task engagement variable, we decided to apply a group repartition to create four categories of task engagement: low engagement, medium-low engagement, medium-high engagement and high engagement. Results indicated that task engagement had an effect on several variables relating to reaction times.

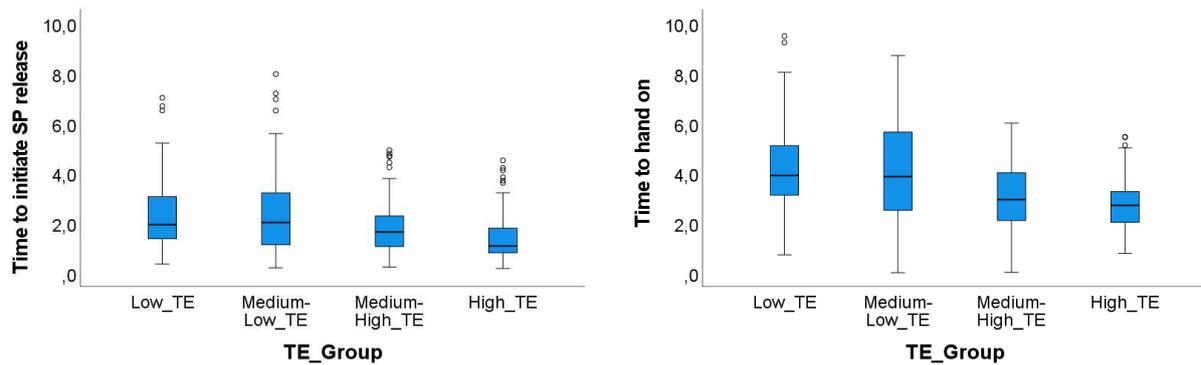


Figure 30 : Illustration of the effect of the level of task engagement on the time taken to initiate smartphone release (a) and the time taken to place hands on the steering wheel(b)

Participants who declared themselves to be the most engaged in the NDRT were those who reacted the fastest when initiating smartphone release ($F(3,310) = 9.082, p < .001$) and when placing their hands on the steering wheel after a takeover request. Figure 7.A and 7.B illustrates this tendency.

Two measurements of interruptibility were applied. The first one concerned NDRT interruptibility during automated driving. Participants had to rate the extent to which they would find an interruption due to navigation information disturbing during an NDRT. The second type of interruptibility question concerned the disturbance felt at the moment of a takeover request. These two measurements were correlated. Participants who declared that they would have been greatly disturbed by navigation information during a given task also declared that they felt annoyed by the takeover request. When this was the case, they also rated the system interruption as not very respectful. Moreover, the less an NDRT was interrupted, the less participants looked at the road or at the central screen and the longer they took to respond to the takeover request. In fact, the less an NDRT was interruptible, the longer it took participants to place their hands on the steering wheel, to look at the road and to initiate smartphone release (respectively, $r = .130, p = .021$; $r = .115, p = .041$; $r = .161, p = .004$). In the second type of interruptibility question, the annoyance felt was influenced by the type of task (Figure 8.A). Participants reported feeling more annoyed after the easy and difficult Tetris sessions ($F(3,310) = 4.429, p = .005$).

Nasa-TLX

Firstly, different correlations were found. The higher the effort scale of the NDRT was rated, the more participants looked at the road during an NDRT ($r = .196, p < .001$). One explanation for this observation could be that participants increased the difficulty of the NDRT session by splitting their attention between the NDRT and monitoring the road environment. The general NASA-TLx score was influenced by the type of task. The Difficult Tetris NDRT was rated with the higher workload level ($F(3,310) = 16.777, p < .001$).

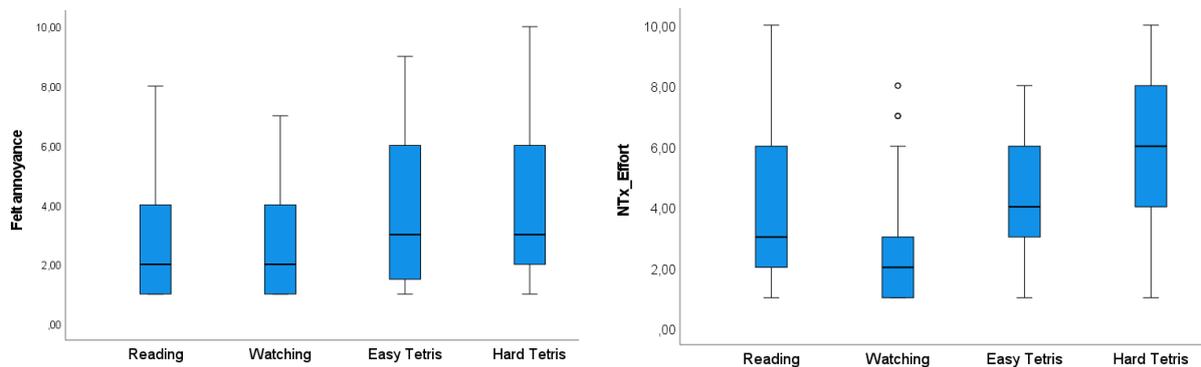


Figure 31 : Illustration of the effect of the task type on the annoyance felt from the interruptibility questionnaire (a) and on the declared effort from the nasa-tlx scale (b)

The effort scale also showed significant differences depending on the type of task (Figure 8.B). The highest scores for effort were given to the Difficult Tetris NDRT. ($F(3,310) = 28.534, p < .001$). Poor personal performance ratings were associated with a higher number of gazes at the road and the central screen during the NDRT sessions (respectively, $r = -.119, p = .035$; $r = -.112, p = .048$). It should be noted that women were tended to significantly rated lower their personal performance ($F(3,310) = 4.390, p = .037$). The temporal demand correlated with the tendency to manipulate the smartphone after regaining control of the vehicle ($r = .122, p = .031$). ANOVA also showed a significant difference on the NASA-TLx score in function of the Tetris difficulty ($F(1,153) = 15.879, p < .001$).

V. Discussion

The takeover of a highly automated vehicle involves interaction between human and machine in a moving environment. This transfer of control requires the system to perform the progressive deactivation of the autonomous driving mode while, in parallel, drivers prepare themselves to perform the takeover, and then effectively take over control of the vehicle. As expressed and

illustrated by our review of the literature on this subject, most current works consider this transitional action in relation to the states of the system, rather than in relation to those of the driver (Jaussein et al., 2021). However, without neglecting the stages traversed by the system, we propose here an approach based on the different states involved in taking over control from the human perspective. We do so by considering the various states of the driver. We therefore designed our study in accordance with the three main states experienced by a driver during the transition of control: the phase of engagement in a Non-Driving-Related Task, the phase of disengagement from this NDRT, then the phase of reengagement with the driving task.

One of the objectives of this work was to test the impact of different types of NDRT on engagement levels and takeover performance. Participants continued to manipulate the smartphone on many occasions after regaining control of the vehicle. This occurred 80% of the time for video watching, over 50% of the time for Tetris, and about 33% of the time for reading. This phenomenon was observed the most after drivers watched a video. However, participants looked at the road environment the most during the video sessions. Results for reaction times after the video sessions do not follow the same pattern as the variables of number of gazes at the road environment or frequency of smartphone manipulation. In fact, it appears that out of all the reaction times measured in relation to the type of task, those which followed the video sessions were among the slowest. The fastest reaction times were most often obtained after the difficult Tetris task, even though during this task participants looked the least frequently at the road environment and declared themselves to be the most disturbed by the interruption that occurred when the takeover request occurred. It was interesting to note that two main types of relationship were found between the measures recorded. Firstly, between subjective and behavioural measures, and secondly, between behavioural and driving measures during the takeover. Links were also found between subjective and behavioural measures, but to a lesser extent. For instance, the time taken to initiate smartphone release was linked to several other variables, such as reaction times.

Several points should be retained from these first results. First of all, manipulation of the smartphone while driving had an impact on takeover performance through the reaction times and the tendency to brake harder. While the questionnaires concerning interruptibility did not

allow a clear distinction to be made between NDRTs, the NDRT interruption strategy showed that there were differences between tasks. Secondly, the level of stimulation generated by the task seems to have had a positive effect on reaction times. Finally, we observed that that reaction times did not necessarily indicate that a driver's takeover was of good quality. The fastest reaction times were not necessarily followed by the best smartphone-related behaviour or by a high quality of takeover. This set of results leads us to believe that engagement in a task is not something to be considered as necessarily negative for the transition situation. As we can see, scores from the various questionnaires indicated that the more engaged participants were those who responded the fastest to the takeover request. However, these results also lead us to dissociate the concept of engagement from that of interruptibility effort, because the interruption strategies showed an independence from other indicators of the level of engagement, such as the effort felt.

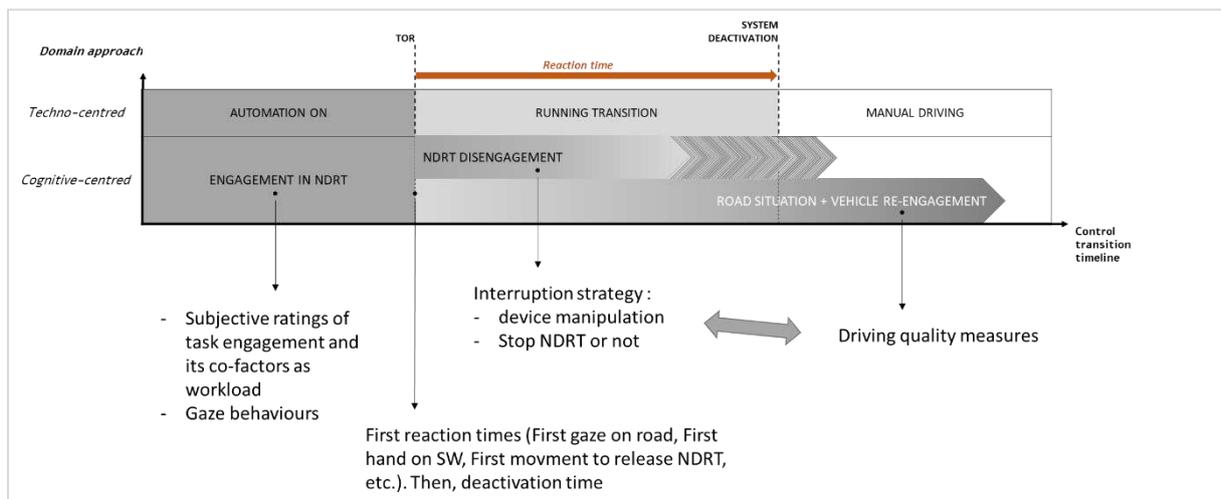


Figure 32 : Illustration of the use of different variables to measure driver state in each transition phase according to Jaussein *et al.*'s model (Jaussein *et al.*, 2021)

A panel of variables was therefore used in our experiment to provide information on each of the states experienced by a driver. We observed that various subjective measurement tools and certain on-board behavioural measures, such as the number of glances at the road during an NDRT, provided information on the levels of engagement in the task. Disengagement was observed more through reaction time measures and other on-board behavioural measures related to smartphone manipulation from the moment the takeover request was made. Finally, on-board behavioural measures relating to handling of the smartphone coupled with qualitative

driving measures (i.e., SDLP) provided relevant information on reengagement in the driving task. Figure 9 offers an illustration of the distribution of these variables.

Watching a video was associated with the lowest evaluation of perceived effort, the worst interruption strategies (manipulating the smartphone after regaining control of the vehicle) and a fairly poor quality of regaining control. On the other hand, during the difficult Tetris, participants did not look at the road environment very often, and yet they reacted well to the takeover request and managed their vehicle well when they regained control. Secondly, the results obtained by coupling subjective and objective measures (behavioural and driving) lead us to believe that there is a close link between the level of engagement in a task and drivers' ability to react to an alert. In our experiment, the more engaged participants declared themselves to be in an NDRT, the faster they reacted to the alert. It would seem that the high levels of energetic arousal, motivation, and focus, defined by Matthews et al. as factors of engagement, are beneficial to maintaining a state of driver readiness compatible with the need for takeover, as previously discussed by some researchers (Marberger et al., 2018; Young & Stanton, 2002).

VI. Conclusions

In conclusion, it would appear that and beyond the task itself, it is the level of engagement that can lead to inappropriate behavior, in particular, and contrary to expectation, in the case of low levels of engagement. We also found that NDRT liking is a factor in driver behaviour, as shown by the effect of preference on the level of engagement reported. From this work, we conclude that a high level of NDRT engagement is associated with fast reaction times, although monitoring of the road environment in this case is very low. This does not, however, guarantee the quality of the driving, which seems to relate more to the type of interruption strategy.

Smartphone manipulation emerges as the factor which has the greatest impact on driving performance when a takeover occurs. Manufacturers should therefore adapt communication on this subject at the time of the takeover request, with a message of prevention indicating that drivers should always take care to keep both hands free.

VII. Acknowledgement

This study was carried out as part of a PhD researches, funded by the Gustave Eiffel University. This research will contribute to a research project lead by the French Delegation of Road Safety about the impact of NDRT in the context of using highly automated vehicles. The authors would like to thank the French Delegation of Road Safety for their support.

VIII. References

- Befelein, D., Boschet, J., & Neukum, A. (2018). Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving. 6th international conference on driver distraction and inattention, Gothenburg, Sweden. Retrieved from: http://ddi2018.org/wp-content/uploads/2018/10/S_9.
- Clark, H., & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.027>
- Fogarty, J., Ko, A. J., Aung, H. H., Golden, E., Tang, K. P., & Hudson, S. E. (2005). Examining task engagement in sensor-based statistical models of human interruptibility. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 331-340.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Éds.), *Advances in Psychology* (Vol. 52, p. 139-183). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Jaussein, M., Lévêque, L., Deniel, J., Bellet, T., Tattegrain, H., & Marin-Lamellet, C. (2021a). How Do Non-driving-related Tasks Affect Engagement Under Highly Automated Driving Situations? A Literature Review. *Frontiers in Future Transportation*, 0. <https://doi.org/10.3389/ffutr.2021.687602>
- Jaussein, M., Tattegrain, H., & Marin-Lamellet, C. (Under Review). Non-driving-related task during automated driving: A pilot study to explore variables of task engagement. In Review Process.

Kern, N., & Schiele, B. (2006). Towards personalized mobile interruptibility estimation. *International Symposium on Location-and Context-Awareness*, 134-150.

Ko, S. M., & Ji, Y. G. (2018). How we can measure the non-driving-task engagement in automated driving : Comparing flow experience and workload. *Applied Ergonomics*, 67, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.10.009>

Lee, B. C., & Duffy, V. G. (2015). The Effects of Task Interruption on Human Performance : A Study of the Systematic Classification of Human Behavior and Interruption Frequency: Lee and Duffy Effects of Task Interruption on Human Performance. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(2), 137-152. <https://doi.org/10.1002/hfm.20603>

Lee, S. C., Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2020). Effects of Non-Driving-Related Task Attributes on Takeover Quality in Automated Vehicles. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 0(0), 1-9. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1815361>

Louw, T., Kuo, J., Romano, R., Radhakrishnan, V., Lenné, M. G., & Merat, N. (2019). Engaging in NDRTs affects drivers' responses and glance patterns after silent automation failures. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 870-882. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.020>

Matthews, G., Joyner, L., Gilliland, K., Campbell, S., Falconer, S., & Huggins, J. (1999). Validation of a comprehensive stress state questionnaire: Towards a state big three. *Personality psychology in Europe*, 7, 335-350.

Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K., & Neukum, A. (2018). A Review of Non-driving-related Tasks Used in Studies on Automated Driving. In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (p. 525-537). Springer International Publishing.

Roche, F., Somieski, A., & Brandenburg, S. (2019). Behavioral Changes to Repeated Takeovers in Highly Automated Driving : Effects of the Takeover-Request Design and the Nondriving-Related Task Modality. *Human Factors*, 61(5), 839-849. <https://doi.org/10.1177/0018720818814963>

Tanshi, F., & Söffker, D. (2019). Modeling of takeover variables with respect to driver situation awareness and workload for intelligent driver assistance. 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 1667-1672. <https://doi.org/10.1109/IVS.2019.8814045>

Wandtner, B., Schmidt, G., Schoemig, N., & Kunde, W. (2018). Non-driving related tasks in highly automated driving—Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance. AmE 2018 - Automotive meets Electronics; 9th GMM-Symposium, 1-6.

Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018a). Effects of Non-Driving Related Task Modalities on Takeover Performance in Highly Automated Driving. *Human Factors*, 60(6), 870-881. <https://doi.org/10.1177/0018720818768199>

Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018b). Secondary task engagement and disengagement in the context of highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.001>

Weaver, B. W., & DeLucia, P. R. (2020). A Systematic Review and Meta-Analysis of Takeover Performance During Conditionally Automated Driving. *Human Factors*, 0018720820976476. <https://doi.org/10.1177/0018720820976476>

Wu, Y., Kihara, K., Hasegawa, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., & Kitazaki, S. (2020). Age-related differences in effects of non-driving related tasks on takeover performance in automated driving. *Journal of Safety Research*, 72, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.019>

Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2019). Non-driving-related tasks, workload, and takeover performance in highly automated driving contexts. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 620-631. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.11.015>

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019). Determinants of takeover time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285-307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020>

VI. Synthèse, discussion et perspectives

A. Synthèse

Le premier chapitre de ce manuscrit présentait l'état des recherches dans un panel de domaines reliés à la prise en compte du facteur humain dans la transition de contrôle entre un véhicule hautement automatisé et un conducteur. L'étude de cette nouvelle action de conduite a nécessité une approche transdisciplinaire, mêlant théories cognitives du conducteur et approches technologiques du véhicule hautement automatisé.

En premier lieu, nous avons observé un grand effort de définition et de recensement des niveaux d'automatisation de la part des différents acteurs de l'automobile. La technologie de conduite automatisée, loin d'être aboutie, progresse néanmoins rapidement et offre de plus en plus de liberté aux conducteurs. Dès lors que le contrôle de la conduite ou de sous-tâches de la conduite peut être réalisé par un système automatisé, la question de la répartition des rôles et des responsabilités entre automate et conducteur se pose. Les instances de sécurité, de concert avec les équipes de recherche ont établi des niveaux d'automatisation définissant chacun un degré de responsabilité réparti entre Homme et Système. Au niveau 4 défini par la SAE International, le conducteur peut déléguer le contrôle total du véhicule au système automatisé pour certaines portions de route (Tableau 3). Pendant ces phases de délégation de conduite, le conducteur peut se tourner vers autre chose et donc s'engager dans une autre tâche mais comme le requiert le code de la route, récemment mis à jour, il devra également rester dans un état de disponibilité compatible avec une prochaine reprise de contrôle du véhicule. Ce cas de reprise en main jugé non-critique peut également se retrouver au niveau 3 du classement de l'automatisation de la SAE International, dans le cas d'une reprise en main planifiée. Cette situation de transfert du contrôle d'un véhicule en mouvement entre un système automatisé et un conducteur préalablement engagé dans une autre tâche a fait l'objet de nos recherches. Nous avons pour cela utilisé les mesures de qualité de reprise en main faisant consensus dans la littérature actuelle que nous avons décidé de comparer à des mesures cognitives et comportementales.

Cette mesure est l'objet de la seconde partie du premier chapitre. Les Tâches de Vie à Bord qu'il est possible de réaliser dans un véhicule sont nombreuses. Des équipes de recherche se sont demandé quelles seraient les plus prépondérantes et ont interrogé ou observé des panels de

conducteurs pour répondre à cette interrogation. Il en ressort que l'utilisation de supports numériques est prédominante pour des trajets de courte ou moyenne durée quand la sieste est l'activité privilégiée pour les longs trajets. Consulter et utiliser son smartphone, travailler, lire sont des activités qui reviennent dans les enquêtes réalisées. En raison de ces observations, d'autres équipes de recherche se sont intéressées à l'impact de ces activités sur l'état cognitif du conducteur et particulièrement lorsqu'il devra reprendre le contrôle du véhicule. Du point de vue de la cognition, le concept d'engagement dans une tâche est venu remplacer celui de distraction. Jusqu'alors, l'impact de la distraction générée par une tâche secondaire chez le conducteur était étudié en situation de conduite manuelle. Concernant les phases de délégation de conduite, la TVB devient principale. Ce n'est plus l'effet d'un stimulus externe sur la conduite que l'on cherche à étudier mais bien l'effet d'une première tâche sur une seconde. Plusieurs éléments entrent en jeu. Tout d'abord, il y a l'effet propre de cette tâche sur le conducteur et notamment le niveau d'engagement qu'elle peut susciter. C'est ce que certains chercheurs ont étudié grâce à différents protocoles. Pour ce faire, le niveau de workload associé à des TVBs, la répartition des ressources attentionnelles entre TVBs et environnement routier, la performance dans la TVB réalisée ont été enregistrés et étudiés. Ensuite, le passage de cette première tâche à la tâche de conduite est un autre paramètre à étudier. Ici apparaît la notion de désengagement d'une tâche pour un réengagement dans une autre tâche. Pour l'étudier, des mesures courantes de performance de reprise en main telles que les temps de réaction et la variation des aspects latéraux et longitudinaux de la conduite sont utilisés. D'autres chercheurs se sont intéressés à des aspects comportementaux renseignant sur les stratégies d'interruption de la TVB. Ces stratégies d'interruption sont des indicateurs du désengagement du conducteur de sa TVB quand les performances de conduite renseignent sur le réengagement.

Nous avons vu dans notre état de l'art que la transition de contrôle peut être vue sous l'angle de l'évolution des états du système – de la conduite automatisée active à la désactivation ce mode – ou bien davantage selon les états du conducteur. L'importance du facteur humain dans cette situation est telle qu'il nous semble indispensable de ne pas négliger sa prise en compte. En dernier volet du premier chapitre de cette thèse, une présentation d'un travail de recensement d'expérimentations traitant des variations de l'engagement dans une TVBs en conditions de conduite hautement automatisée et impliquant une reprise de contrôle d'un véhicule en cours de conduite en environnement simulé. Nous avons précisément tenté de comprendre et d'expliquer comment l'engagement était manipulé, mesuré et analysé dans le panel d'articles sélectionnés. Une approche de la transition de contrôle est proposée selon les différentes étapes

de l'engagement traversées par le conducteur. Elles se répartissent en trois étapes qui ne se succèdent pas forcément d'une manière séquentielle, et donc différemment du modèle classique observé dans la littérature qui s'appuie sur la variation des états du système.

Dans une partie expérimentale faisant l'objet d'un second chapitre, deux volets ont été développés. Pour étudier les mécanismes d'engagement lors de la transition de contrôle, des outils de mesure subjective ont d'abord été testés dans un premier volet. En effet, plusieurs mesures de l'engagement dans les tâches ont été combinées dans le cadre d'une étude pilote. Cette étude ayant reçu 340 participations a notamment permis de différencier des TVBs en fonction du niveau d'interruptibilité qui leur est assigné par les participants. Elle a également permis de démontrer l'utilité de questionnaires interrogeant les participants sur les variations de leur niveau de charge de travail, de motivation, de concentration, d'effort d'interruption pour évaluer l'engagement dans une TVB. Ces outils de mesures subjectives ont ensuite été utilisés dans le cadre d'une expérimentation sur simulateur, faisant l'objet du second volet de ce chapitre. 44 participants ont expérimenté 8 situations de reprise en main et 4 types de TVBs (réalisées pendant la phase de délégation de conduite, avant la reprise en main). Les résultats ont montré que le type de tâche influence les stratégies d'interruption choisies par le conducteur lors de la reprise en main. Ils montrent également que le déroulement de la phase de désengagement a plus d'influence sur la qualité de reprise en main que la phase d'engagement dans la TVB. Cependant, les participants les plus engagés dans leur TVB sont ceux qui ont les temps de réaction les plus courts lorsqu'une demande de reprise en main retentit. Ces résultats montrent la distinction entre réagir et être pleinement engagé dans une nouvelle tâche.

B. Discussion

Le questionnement le plus exprimé concernant la délégation de contrôle par les acteurs de l'automobile concerne l'incidence de la perte de la responsabilité de la conduite et de la possibilité de se tourner vers d'autres activités lors de ce temps de délégation sur la capacité du conducteur à reprendre le véhicule plus tard. A ce sujet, deux points de vue relativement opposés sont à distinguer dans la littérature. Le premier se positionnerait en la faveur de TVBs durant la phase de délégation de conduite qui favoriseraient le maintien du conducteur dans un

état cognitif compatible avec une sollicitation du système (Marberger et al., 2018; Merat et al., 2012b; Neubauer et al., 2012; M. S. Young & Stanton, 2002a). A l'inverse, d'autres chercheurs considèrent les TVBs comme un potentiel danger pour la conduite (Eriksson & Stanton, 2017; B. Mok et al., 2017). Quand les premiers s'appuient sur des théories de mobilisation des ressources attentionnelles pour expliquer l'intérêt du maintien du conducteur dans un état compatible avec celui requis par la tâche de conduite, les seconds appliquent davantage les théories des tâches multiples et de la limitation des ressources pour exprimer leur retenue quant aux TVBs. En effet, Young et Stanton soutiennent que pour l'usage d'un véhicule hautement automatisé, c'est plutôt le phénomène d'*underload* qui serait à craindre, plus que celui d'*overload*. Il serait donc plus important que les conducteurs demeurent dans un état de stimulation minimum au vu d'une prochaine reprise de contrôle du véhicule. En revanche, la TVB peut également être perçue comme un stimulus supplémentaire qui s'ajouterait au niveau de demande global de la reprise en main. En s'appuyant sur les théories de ressources multiples, et notamment celle développée par Wickens, plusieurs équipes de recherche ont conclu que la TVB rendait la situation de reprise en main plus difficile à appréhender (Weaver & DeLucia, 2020). A la croisée de ces deux approches, certains chercheurs défendent l'idée d'un niveau de mental workload optimal (Hancock & Caird, 1993). Déjà, plusieurs équipes de recherche avaient identifié l'importance d'un niveau optimal de workload ou « d'arousal » pour la conduite manuelle (Engström et al., 2005; Solovey et al., 2014). Si les termes et concepts employés pour désigner l'état cognitif du conducteur varient (par exemple, « driver availability », « arousal », « workload », « mental resources »), l'enjeu qu'ils évoquent n'en demeure pas moins capital. Il apparaît clairement au travers des recherches menées par la communauté scientifique que l'état cognitif dans lequel se trouvera le conducteur au moment de la reprise en main n'est pas à négliger dans les recherches au sujet du véhicule hautement automatisé. L'engagement dans la TVB et son impact sur la reprise en main est donc un premier point clé. Comme nous l'avons vu, des équipes de recherche ont également démontré l'importance de la gestion de la fin de la TVB au moment précis de l'apparition de la requête de reprise en main (Miller et al., 2015; Wandtner, Schömig, et al., 2018d). Il apparaît ici que le type de TVB, selon différents critères comme les modalités perceptives qu'elle sollicite ou la motivation à la réaliser, peut avoir un impact sur les stratégies d'interruption adoptées par le

conducteur et donc sa capacité à s'en désengager (Befelein et al., 2018b; Wandtner, Schömig, et al., 2018a). Enfin, en plus de la phase de désengagement de la tâche, le conducteur devra se réengager dans la tâche de conduite. Cette phase est la plus étudiée dans la littérature scientifique aux travers des mesures de performance de reprise en main (Du et al., 2020; Weaver & DeLucia, 2020).

Nous avons sur cette base émis plusieurs hypothèses pour nos travaux expérimentaux. Nous pensions tout d'abord, pour notre premier volet expérimental, que le DSSQ était un outil permettant d'observer des différences d'engagement ressenti par les participants. Cette première affirmation a été vérifiée et sur la base de ces différences d'évaluation de l'engagement mesurées dans le cadre d'un jeu de rotation mentale, nous avons observé une corrélation avec deux variables : le niveau d'interruptibilité déterminé pour cette même tâche et le score final obtenu à ce jeu. En effet, un fort engagement était associé à une interruptibilité faible (signifiant que les participants ont jugé qu'une interruption aurait généré un dérangement important) et à un score finale élevé obtenu au jeu. Cette corrélation négative avec le niveau déclaré d'interruptibilité de la tâche confirme la deuxième hypothèse de notre cadre expérimental qui prédisait que l'engagement était intrinsèquement lié à l'interruptibilité. Nous avons également prédit que le Task Engagement mesuré par le DSSQ serait corrélé au niveau de workload déclaré. Les réponses des participants aux différents questionnaires ont donc montré une certaine logique et nous ont amené à considérer une réelle relation entre ces différents concepts. Enfin, l'hypothèse selon laquelle la motivation à réliser la tâche allait avoir un effet sur l'engagement ressenti ne s'est pas vérifiée. Les participants ayant été orientés vers des instructions particulièrement motivantes n'ont en moyenne pas noté leur engagement plus élevé que ceux ayant reçu une consigne classique. Nous pouvons penser que la consigne n'était peut-être pas suffisamment motivante et qu'elle n'a donc pas permis de marquer une différence franche avec la consigne classique. Par exemple, certaines études ayant pour objectif de particulièrement motiver leurs participants ont utilisé des récompenses financières à obtenir par le jeu. Malgré tout, ce premier volet expérimental renforce l'idée qu'un lien étroit existe entre l'engagement, la CDT et le dérangement ressentis. Dans la théorie de l'état de stress de Matthews *et al.*, l'engagement est la résultante de trois facteurs principaux : ce qu'il nomme

« l'energetic arousal », la motivation et la concentration. La variable de concentration du jeu de rotation mentale a été particulièrement corrélée au dérangement ressenti ainsi qu'au score global du NASA-Tlx. L'état de concentration défini par Matthews *et al.* semble ainsi fortement lié à la charge de travail et à l'interruptibilité d'une tâche. Les deux autres facteurs définis par Matthews semblent plus indépendants. Pour la suite de nos travaux expérimentaux, il nous a paru intéressant de garder ces trois grands outils de mesure car bien qu'ils affichent certains liens de proximité, ils ont par la suite montré leurs spécificités pour la compréhension des états cognitifs du conducteur lors de la reprise en main.

Hypothèse théorique		Hypothèse opérationnelle	Résultat
H1	La partie mesurant l'engagement dans la tâche par le sous facteur « Task Engagement » du Dundee Stress State Questionnaire permet de mesurer la variation de l'engagement ressenti entre différentes tâches réalisées sur support numérique et de courte durée (4 à 6 minutes)	Le niveau de « Task engagement » du DSSQ varie en fonction du type de tâche. La tâche de rotation mentale associée à une forte demande est associée à de hauts niveaux d'engagement ressenti dans la tâche.	X V
H2	Un fort engagement ressenti dans une tâche est associé à l'attribution d'un faible niveau d'interruptibilité d'une tâche (plus la personne se sent engagée, plus elle aura tendance à se sentir déranger lors d'une interruption de la tâche en cours)	L'engagement ressenti dans la tâche mesuré par le DSSQ est corrélé négativement au niveau d'interruptibilité déclaré	V
H3	Un fort engagement ressenti dans une tâche est associé à un niveau de workload élevé.	Le niveau général de « Task engagement » du DSSQ varie de paire avec le niveau de charge de travail.	V
H4	La motivation a un effet sur le niveau d'engagement ressenti	L'engagement ressenti dans la tâche sera en moyenne plus haut pour les participants ayant été orientés vers une consigne particulièrement motivante.	X

Tableau 12 : Reprise des hypothèses théoriques et opérationnelles de la première étude (enquête en ligne)

Le second volet expérimental construit pour cette thèse s'est concentré sur l'étude de l'évolution de l'engagement au cours d'une reprise en main du véhicule. Nous avons identifié trois grands stades par lesquels passe le conducteur que nous avons utilisé comme structure pour construire nos hypothèses. Tout d'abord, nous avons fait l'hypothèse que l'engagement dans la TVB ressenti par le conducteur lors de la phase de délégation de conduite variait en fonction du type de tâche. Contrairement à ce que nous pensions, nous n'avons pas observé de variabilité de l'engagement ressenti en fonction de la tâche. Des comportements différents en fonction des tâches ont tout de même été observés. La vidéo a généré des comportements particuliers tels qu'un nombre élevé de regards vers la route pendant son visionnage et un taux de manipulation du smartphone très élevé à sa suite.

Hypothèse théorique		Hypothèse opérationnelle	Résultat
H1	Les TVBs créent des niveaux d'engagement qui leur sont propres en fonction de différentes caractéristiques	L'engagement dans la tâche ressenti est le plus élevé dans le cas du visionnage d'une vidéo (sur la base des travaux de Zeeb <i>et al.</i> , 2015) que dans le cas des autres TVBs	X
		L'engagement ressenti est corrélé positivement à l'effort ressenti pour réaliser la tâche (MART)	V
		L'engagement ressenti est plus fort pour Tetris à niveau élevé que pour Tetris à niveau facile	V
H2	Les TVBs engendrent des mécanismes de désengagement qui leurs sont propres en fonction de différentes caractéristiques	Il existe des différences de gestion de fin de tâche en fonction du type de TVB réalisée	V
		La manipulation du smartphone en fin de tâche varie en fonction de l'engagement du conducteur dans la TVB	X
		L'engagement dans la tâche influence la gestion de fin de tâche	X
H3	Les états d'engagement durant à la TVB réalisée pendant la phase autonome auront une influence sur le réengagement du conducteur dans la tâche de conduite	Les participants ayant évalué la TVB à un niveau élevé de d'engagement auront un contrôle latéral et longitudinal moins précis en reprise en main	X
		Les participants ayant évalué la TVB à un niveau élevé de workload auront un contrôle latéral et longitudinal moins précis en reprise en main	X

Tableau 13 : Reprise des hypothèses théoriques et opérationnelles de la seconde étude (expérimentation sur simulateur)

En revanche, bien qu'elle se distingue nettement au moment des phases d'engagement et de désengagement, elle n'a montré qu'une légère tendance quant à son effet sur les performances de conduite lors de la reprise en main. Il s'est avéré que l'engagement dans la tâche était étroitement corrélé au niveau de charge de travail et que celui-ci était significativement plus élevé pour le Tetris difficile que pour le Tetris facile. Les TVBs ont donc créé des niveaux de charge de travail différents mais n'ont en revanche pas permis de démontrer des variations de l'engagement. Néanmoins, des variations de l'engagement ont quand-même été observées et ont permis d'expliquer les résultats de temps de réaction observés lors de la reprise en main. Il est apparu que les temps de réaction sont plus élevés après la tâche de Tetris facile alors qu'ils sont les plus courts après la tâche de Tetris difficile. Ces résultats sur les temps de réaction tendent à renforcer les prédictions de Young et Stanton au sujet des risques d'underload lors de phase d'automatisation (M. S. Young & Stanton, 2002a). En revanche, cet effet est observé sur les temps de réaction seulement. Dans le cadre de notre expérimentation, si les participants ont été dans un état d'underload lors de la tâche de Tetris, celui-ci n'a pas eu d'effet significatif sur les variables de qualité de reprise en main. Nous avons considéré que dans un second temps, le conducteur allait traverser une phase de désengagement de la TVB, qui laisserait ensuite place à une phase de réengagement dans la tâche de conduite.

Lors de la phase de désengagement, des comportements spécifiques à certaines tâches ont été observés comme nous l'avions prédit. En effet, nous avons vu que le taux de manipulation du smartphone était plus important après la vidéo. Après le Tetris facile et le Tetris difficile, le taux de manipulation était un peu plus bas mais restait plus haut que celui d'après la lecture. Nous pensions que cette tendance à la manipulation du smartphone était directement liée au niveau d'engagement du participant dans la tâche. Or, nous avons constaté que ce n'était pas le cas, notamment à travers l'exemple de la vidéo où les participants n'ont pas semblé être particulièrement engagé et ont pourtant beaucoup manipulé le smartphone après la désactivation du système. Nous interprétons ces résultats comme l'indication que la stratégie d'interruption de la tâche dépend plus du type de tâche que du type de l'engagement mis dans celle-ci. En effet, la vidéo, si elle n'était pas coupée tout de suite, continuait à tourner.

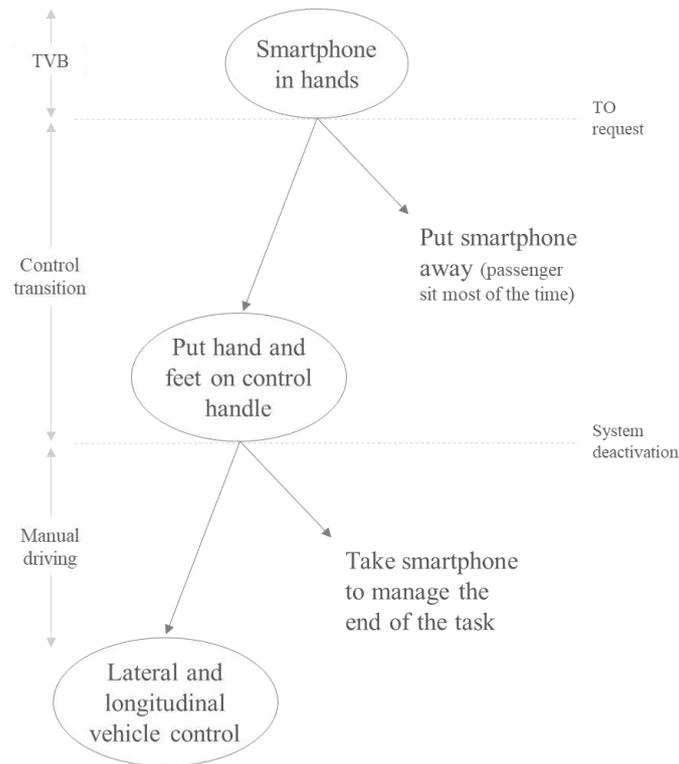


Figure 33 : Illustration du déroulement de la gestion de la fin de TVB sur smartphone lors de la transition de contrôle

Or, à travers les enregistrements vidéo des passations, nous nous sommes aperçus que le comportement de gestion de fin de tâche le plus courant était de délaissier le smartphone relativement rapidement dès que la requête de reprise en main retentissait sans prendre le temps de mettre fin à la tâche en cours. Le participant reprenait alors le contrôle du véhicule et dans la première minute de conduite manuelle avait tendance à reprendre le smartphone pour mettre fin à la TVB. La Figure 33 illustre ce déroulement couramment observé dans notre expérimentation. Sur les quatre TVBs expérimentées par le participant, seulement une ne continuait pas toute seule même si le participant lâchait le smartphone : la lecture. C'est bien après cette tâche que le taux de manipulation du smartphone a été le plus bas. Nous arrivons donc à la conclusion que c'est davantage la nécessité ressentie par le conducteur de mettre un terme à la tâche, lorsqu'elle continue malgré lui, qui a une influence sur sa gestion de la transition de contrôle. Il pourrait être intéressant de prévoir dans la conception des systèmes de requête de reprise en main, particulièrement dans des cas non critiques, que le conducteur soit incité à finir et clore sa TVB avant de reprendre le contrôle du véhicule.

Enfin, dans un troisième groupe d'hypothèses, nous avons prédit que les précédents états d'engagement dans la tâche auraient une influence sur le réengagement du conducteur dans la tâche de conduite et notamment sur la qualité du contrôle latérale et longitudinal. Bien que l'écart standard de la vitesse du véhicule juste après la désactivation du système automatisé ait été plus important après le visionnage de la vidéo, le niveau d'engagement ne semble pas être le facteur explicatif. En effet, si l'engagement dans la TVB a montré une influence sur les temps de réaction, c'est davantage la phase de désengagement de celle-ci qui a eu une influence sur le réengagement et donc sur la qualité de la reprise en main effectuée. C'est la raison pour laquelle nous arrivons à la conclusion que la gestion de la fin de tâche est un facteur crucial de la performance de reprise de contrôle.

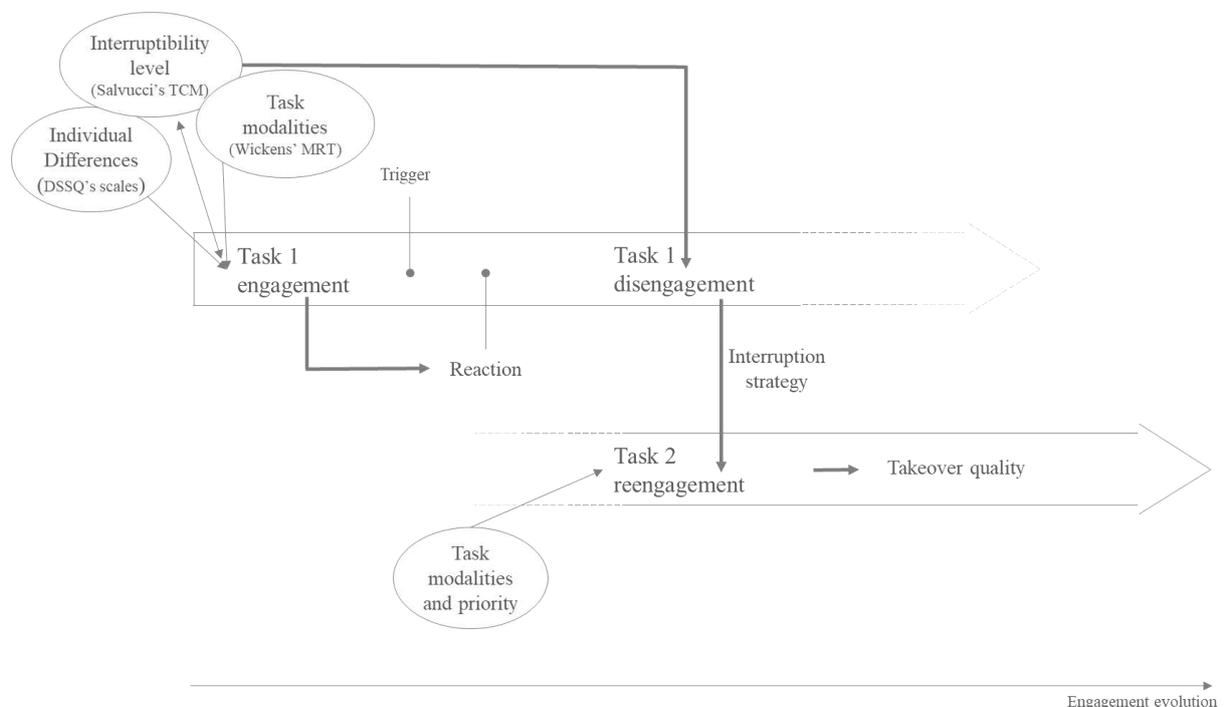


Figure 34 : Evolution des états d'engagement lors du passage d'une tâche 1 à une tâche 2 déclenché par un signal extérieur

En conclusion, nous avons identifié la nécessité de prendre en compte les différents états d'engagement traversés par le conducteur dans l'utilisation d'un véhicule hautement automatisé pour comprendre les enjeux liés à la transition de contrôle. Cette approche est illustrée dans la Figure 34 : Evolution des états d'engagement lors du passage d'une tâche 1 à une tâche 2 déclenché par un signal extérieur. Nous avons pu observer dans le cadre expérimental construit qu'il existait effectivement des phases bien distinctes traversées par le conducteur qui

ont chacune leurs spécificités et un impact spécifique. En effet, nous avons vu que différents niveaux d'engagement pouvaient être observés et quel impact cela pouvait avoir. Les variations de l'engagement dans la TVB ont démontré une incidence particulière sur les temps de réaction du conducteur et non sur les variables relatives à la qualité de la reprise en main. En revanche, c'est plutôt le déroulement de la phase de désengagement de la TVB et notamment la stratégie d'interruption de la TVB qui a démontré un effet sur la qualité de la reprise en main. Ces résultats nous encouragent à appréhender l'action de reprise en main comme une combinaison d'états de l'engagement, chacun bien distincts, qui peuvent avoir un effet sur des aspects de la reprise en main, eux aussi, bien distincts.

C. Limites et perspectives

Du point de vue de la sécurité routière, l'automatisation partielle de la conduite peut être vue à la fois comme une réelle opportunité de faire baisser les accidents mais aussi comme un vrai défi dans sa mise en œuvre. Le facteur humain est crucial dans cette interaction Homme-Système. Comme l'ont particulièrement remarqué Young et al., l'automobile doit apprendre des leçons tirées par le secteur aéronautique de l'automatisation sur la performance de l'opérateur (M. S. Young et al., 2007). L'automatisation des systèmes a apporté une vraie contradiction pour l'utilisateur : dans le cas du véhicule hautement automatisé, le conducteur est libéré du guidage et/ou de la supervision continue du véhicule, mais doit rester dans des dispositions compatibles avec une reprise de contrôle. Un aspect important pour la performance humaine dans de telles situations est l'état du conducteur qui est fortement influencé par l'interaction avec les TVBs qu'il réalisera. Notre travail ouvre de nombreuses perspectives et comporte des limites qui pourraient être complétées de bien diverses manières.

Le panel de participants de notre seconde expérimentation a ses propres limites, en nombre (44 participants) et en caractéristiques. Nous avons fait le choix de ne pas traiter de manière principale les variables d'âge et d'expérience et donc d'exclure les jeunes conducteurs et les seniors des candidatures. Il pourrait être intéressant néanmoins de reproduire les mêmes conditions expérimentales afin d'observer si ces populations présentent des différences dans la gestion de la transition de contrôle. Concernant les conditions expérimentales dans lesquelles

se sont déroulées notre expérimentation, la première limite que nous pouvons souligner est l'environnement simulé qui, bien que travaillé et immersif, ne remplace pas pleinement la réalité du terrain. Nos conclusions sont donc à placer dans le cadre simulé et ils seraient bénéfiques de pouvoir les confronter à des situations réelles de transition de contrôle en véhicule hautement automatisé. Ensuite, il faudra bien évidemment élargir le spectre des TVBs réalisées, aussi bien par leur type que par le support sur lesquelles elles sont réalisées. Si nous avons choisi le smartphone, c'est parce que nous avons considéré qu'il fait partie des enjeux majeurs de notre temps. Cependant, l'impact du support est un sujet d'intérêt. Pouvoir évaluer si des différences de performance de reprise en main sont observées en fonction des supports utilisés pour la TVBs est également un point important à déterminer pour les enjeux proches de l'automatisation. Il serait également intéressant d'ouvrir les TVBs sur un champ plus personnel. Nos TVBs étaient imposées et suscitaient nécessairement des niveaux d'appétence différents. Il pourrait être intéressant de prendre plus finement en compte le niveau d'implication que suscite la tâche en s'intéressant aux aspects émotionnels qu'entraîne cette dernière. Enfin, toujours sur le plan expérimental, la mesure de l'engagement, notamment par le DSSQ nous a permis d'interpréter certains comportements du conducteur. Néanmoins, nous pensons qu'il serait important d'approfondir ce travail pour identifier d'autres outils pour l'étude des états cognitifs du conducteur de la transition de contrôle. En effet, la particularité de ce moment que traverse le conducteur nécessiterait certainement un outil plus fin, compatible avec la mesure de TVBs et la succession de phases rapprochées. Enfin, la qualité de la conduite au moment de la reprise en main du véhicule reste propre à l'environnement simulé (par exemple, les résultats de freinage que nous avons obtenus sont très forts par rapport aux courbes de freinage standard que nous connaissons de la conduite en conditions réelles). Ainsi, leur mesure en condition réelle pourrait certainement apporter de nouvelles informations.

Ce travail n'est qu'un début et une contribution modeste à la grande question de l'analyse de la performance de reprise en main d'un véhicule hautement automatisé après la réalisation d'une TVB. Nous espérons néanmoins que nos travaux contribueront à convaincre les acteurs de l'automobile de l'importance de la prise en compte des états du conducteur. Notre communauté scientifique porte la responsabilité d'aider les instances de législation à hiérarchiser les TVBs

pour le futur du véhicule hautement automatisé. Les projections au sujet du véhicule de demain nous laissent imaginer la voiture comme un prolongement de l'environnement de vie de l'utilisateur, où il pourra, comme à son bureau ou chez lui, travailler, téléphoner, manger et d'autres choses encore. Enfin, les développements des cockpits du futur ont fort à faire pour proposer une interaction aux conducteurs qui à la fois lui assurera une expérience de qualité à la hauteur de ses attentes mais en maintenant avant tout un niveau de fiabilité optimale pour garantir la meilleure interaction entre Humain et Système.

VII. Bibliographie

- Adamczyk, P. D., & Bailey, B. P. (2004). If not now, when? The effects of interruption at different moments within task execution. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 271-278.
<https://doi.org/10.1145/985692.985727>
- Albentosa, J., Berthelon, C., & Galy, É. (2017). Surcharge de travail en fonction de l'environnement de conduite, de l'expérience des conducteurs et de leur état interne. *Le travail humain*, Vol. 80(4), 395-416.
- Altmann, E. M., Trafton, J. G., & Hambrick, D. Z. (2014). Momentary interruptions can derail the train of thought. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(1), 215-226.
<https://doi.org/10.1037/a0030986>
- Bainbridge, L. (1987). Ironies of Automation. *New Technology and Human Error*, 15, 271-283.
[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)62897-0](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)62897-0)
- Befelein, D., Boschet, J., & Neukum, A. (2018a). Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving. *6th international conference on driver distraction and inattention, Gothenburg, Sweden*. Retrieved from: http://ddi2018.org/wp-content/uploads/2018/10_S_9.
- Befelein, D., Boschet, J., & Neukum, A. (2018b). Influence of non-driving-related tasks' motivational aspects and interruption effort on driver take-over performance in conditionally automated driving. *6th international conference on driver distraction and inattention, Gothenburg, Sweden*. Retrieved from: http://ddi2018.org/wp-content/uploads/2018/10_S_9.
- Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., Olmstead, R. E., Tremoulet, P. D., & Craven, P. L. (2007). EEG Correlates of Task Engagement

- and Mental Workload in Vigilance, Learning, and Memory Tasks. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(5), B231-B244.
- Beukel, A. P. van den, & Voort, M. C. van der. (2013). The influence of time-criticality on Situation Awareness when retrieving human control after automated driving. *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, 2000-2005. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728523>
- Borojeni, S. S., Weber, L., Heuten, W., & Boll, S. (2018a). From Reading to Driving : Priming Mobile Users for Take-over Situations in Highly Automated Driving. *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 14:1-14:12. <https://doi.org/10.1145/3229434.3229464>
- Borojeni, S. S., Weber, L., Heuten, W., & Boll, S. (2018b). From Reading to Driving : Priming Mobile Users for Take-over Situations in Highly Automated Driving. *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 14:1-14:12. <https://doi.org/10.1145/3229434.3229464>
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Elsevier.
- Cain, B. (2007). *A Review of the Mental Workload Literature*. DEFENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT TORONTO (CANADA). <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA474193>
- Carsten, O. (2007). From Driver Models to Modelling the Driver : What Do We Really Need to Know About the Driver? In P. C. Cacciabue (Éd.), *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments : Critical Issues in Driver Interactions with Intelligent Transport Systems* (p. 105-120). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-618-6_6

- Carsten, O., Lai, F., Barnard, Y., Jamson, A., & Merat, N. (2012a). Control Task Substitution in Semiautomated Driving : Does It Matter What Aspects Are Automated? *Human factors*, 54, 747-761. <https://doi.org/10.1177/0018720812460246>
- Carsten, O., Lai, F. C. H., Barnard, Y., Jamson, A. H., & Merat, N. (2012b). Control Task Substitution in Semiautomated Driving : Does It Matter What Aspects Are Automated? *Human Factors*, 54(5), 747-761. <https://doi.org/10.1177/0018720812460246>
- Carver, C. S., & Scheier, M. F. (2005). Engagement, Disengagement, Coping, and Catastrophe. In *Handbook of competence and motivation* (p. 527-547). Guilford Publications.
- Casner, S. M., Hutchins, E. L., & Norman, D. (2016). The challenges of partially automated driving. *Communications of the ACM*, 59(5), 70-77.
- Cegarra, J., & Morgado, N. (2009). Étude des propriétés de la version francophone du NASATLX. *Communication présentée à la cinquième édition du colloque de psychologie ergonomique (Epique)*, 28-30.
- Clark, H., & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.027>
- Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B., & Feng, J. (2017a). Performance in Takeover and Characteristics of Non-driving Related Tasks during Highly Automated Driving in Younger and Older Drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 37-41. <https://doi.org/10.1177/1541931213601504>
- Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B., & Feng, J. (2017b). Performance in Takeover and Characteristics of Non-driving Related Tasks during Highly Automated Driving in Younger and Older Drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 37-41. <https://doi.org/10.1177/1541931213601504>

- Csikszentmihalyi, M., & Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience* (Vol. 1990). Harper & Row New York.
- Cummings, M. L., & Ryan, J. (2014). POINT OF VIEW : Who Is in Charge? The Promises and Pitfalls of Driverless Cars. *TR News*, 292. <https://trid.trb.org/view/1317067>
- Damböck, D., Weißgerber, T., Kienle, M., & Bengler, K. (2013). Requirements for cooperative vehicle guidance. *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, 1656-1661. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728467>
- De Waard, D., & Brookhuis, K. A. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*.
- Dingus, T. A., Guo, F., Lee, S., Antin, J. F., Perez, M., Buchanan-King, M., & Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2636-2641. <https://doi.org/10.1073/pnas.1513271113>
- Dingus, T. A., Hulse, M. C., Antin, J. F., & Wierwille, W. W. (1989). Attentional demand requirements of an automobile moving-map navigation system. *Transportation Research Part A: General*, 23(4), 301-315. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(89\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0191-2607(89)90013-7)
- Dingus, T., Klauer, S., Lewis, V., Petersen, A., Lee, S., Sudweeks, J., Perez, M., Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., Bucher, C., Doerzaph, Z., Jermeland, J., & Knippling, R. (2006). *The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.01.012>

- Donges, E. (1999). A Conceptual Framework for Active Safety in Road Traffic. *Vehicle System Dynamics*, 32(2-3), 113-128. <https://doi.org/10.1076/vesd.32.2.113.2089>
- Drory, A. (1985). Effects of Rest and Secondary Task on Simulated Truck-Driving Task Performance. *Human Factors*, 27(2), 201-207. <https://doi.org/10.1177/001872088502700207>
- Du, N., Zhou, F., Pulver, E., Tilbury, D., Robert, L. P., Pradhan, A. K., & Yang, X. J. (2020). Predicting Takeover Performance in Conditionally Automated Driving. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 1-8). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3334480.3382963>
- Dula, C. S., Martin, B. A., Fox, R. T., & Leonard, R. L. (2011). Differing types of cellular phone conversations and dangerous driving. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 187-193.
- Eggemeier, F. T., & Wilson, G. F. (1991). Performance-based and subjective assessment of workload in multi-task. *Multiple task performance*, 217.
- Endsley, M., & Kaber, D. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42, 462-492. <https://doi.org/10.1080/001401399185595>
- Endsley, M. R. (2017). From Here to Autonomy : Lessons Learned From Human–Automation Research. *Human Factors*, 59(1), 5-27. <https://doi.org/10.1177/0018720816681350>
- Endsley, M. R. (1988). Situation awareness global assessment technique (SAGAT). *Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference*, 789-795 vol.3. <https://doi.org/10.1109/NAECON.1988.195097>
- Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42(3), 462-492. <https://doi.org/10.1080/001401399185595>

- Engeser, S., & Rheinberg, F. (2008). Flow, performance and moderators of challenge-skill balance. *Motivation and Emotion*, 32(3), 158-172. <https://doi.org/10.1007/s11031-008-9102-4>
- Engström, J., Johansson, E., & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 97-120. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.012>
- Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Takeover Time in Highly Automated Vehicles : Noncritical Transitions to and From Manual Control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 59(4), 689-705. <https://doi.org/10.1177/0018720816685832>
- Exler, A., Braith, M., Schankin, A., & Beigl, M. (2016). Preliminary investigations about interruptibility of smartphone users at specific place types. *Proceedings of the 2016 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing: Adjunct*, 1590-1595.
- Feldhütter, A., Gold, C., Schneider, S., & Bengler, K. (2017). *How the Duration of Automated Driving Influences Take-Over Performance and Gaze Behavior* (p. 309-318). https://doi.org/10.1007/978-3-662-53305-5_22
- Fogarty, J., Hudson, S. E., Atkeson, C. G., Avrahami, D., Forlizzi, J., Kiesler, S., Lee, J. C., & Yang, J. (2005). Predicting human interruptibility with sensors. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(1), 119-146.
- Fogarty, J., Ko, A. J., Aung, H. H., Golden, E., Tang, K. P., & Hudson, S. E. (2005). Examining task engagement in sensor-based statistical models of human interruptibility. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 331-340.

- Freeman, N., & Muraven, M. (2010). Don't interrupt me ! Task interruption depletes the self's limited resources. *Motivation and emotion*, 34(3), 230-241.
- Gold, C., Körber, M., Lechner, D., & Bengler, K. (2016). Taking Over Control From Highly Automated Vehicles in Complex Traffic Situations : The Role of Traffic Density. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(4), 642-652. <https://doi.org/10.1177/0018720816634226>
- Gold, C., Lorenz, L., Damböck, D., & Bengler, K. (2013). Partially Automated Driving as a Fallback Level of High Automation. 6. *Tagung Fahrerassistenz. Der Weg zum automatischen Fahren.*
- Gopher, D., & Sanders, A. F. (1984). S-Oh-R : Oh Stages! Oh Resources! In W. Prinz & A. F. Sanders (Éds.), *Cognition and Motor Processes* (p. 231-253). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69382-3_16
- Griffiths, P. G., & Gillespie, R. B. (2005). Sharing Control Between Humans and Automation Using Haptic Interface : Primary and Secondary Task Performance Benefits. *Human Factors*, 47(3), 574-590. <https://doi.org/10.1518/001872005774859944>
- Hancock, P. A. (1989). A Dynamic Model of Stress and Sustained Attention. *Human Factors*, 31(5), 519-537. <https://doi.org/10.1177/001872088903100503>
- Hancock, P. A., & Caird, J. K. (1993). Experimental Evaluation of a Model of Mental Workload. *Human Factors*, 35(3), 413-429. <https://doi.org/10.1177/001872089303500303>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Éds.), *Advances in Psychology* (Vol. 52, p. 139-183). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

- Hart, S. G., & Wickens, C. D. (1990). Workload Assessment and Prediction. In H. R. Booher (Éd.), *Manprint: An Approach to Systems Integration* (p. 257-296). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0437-8_9
- Hecht, T., Darlagiannis, E., & Bengler, K. (2020). Non-driving Related Activities in Automated Driving – An Online Survey Investigating User Needs. In T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl, & R. Taiar (Éds.), *Human Systems Engineering and Design II* (p. 182-188). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_28
- Helton, W. S. (2004). Validation of a Short Stress State Questionnaire. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(11), 1238-1242. <https://doi.org/10.1177/154193120404801107>
- Ho, C.-Y., Nikolic, M. I., Waters, M. J., & Sarter, N. B. (2004). Not Now ! Supporting Interruption Management by Indicating the Modality and Urgency of Pending Tasks. *Human Factors*, 46(3), 399-409. <https://doi.org/10.1518/hfes.46.3.399.50397>
- Hoc, J.-M. (2000). From human–machine interaction to human–machine cooperation. *Ergonomics*, 43(7), 833-843.
- Hoc, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human–machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54(4), 509-540. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0454>
- Hopkin, V. D. (2017). *Human factors in air traffic control*. CRC Press.
- Horrey, W. J., Lesch, M. F., & Garabet, A. (2009). Dissociation between driving performance and drivers' subjective estimates of performance and workload in dual-task conditions. *Journal of safety research*, 40(1), 7-12.
- Iqbal, S. T., & Bailey, B. P. (2005). Investigating the Effectiveness of Mental Workload As a Predictor of Opportune Moments for Interruption. *CHI '05 Extended Abstracts on*

Human Factors in Computing Systems, 1489-1492.

<https://doi.org/10.1145/1056808.1056948>

Iqbal, S. T., & Bailey, B. P. (2006). Leveraging Characteristics of Task Structure to Predict the Cost of Interruption. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 741-750. <https://doi.org/10.1145/1124772.1124882>

Jarosch, O., Kuhnt, M., Paradies, S., & Bengler, K. (2017). It's Out of Our Hands Now ! Effects of Non-Driving Related Tasks During Highly Automated Driving on Drivers' Fatigue. *Driving Assessment Conference*, 319-325.

Jaussein, M., Lévêque, L., Deniel, J., Bellet, T., Tattegrain, H., & Marin-Lamellet, C. (2021b). How Do Non-driving-related Tasks Affect Engagement Under Highly Automated Driving Situations? A Literature Review. *Frontiers in Future Transportation*, 0. <https://doi.org/10.3389/ffutr.2021.687602>

Jaussein, M., Tattegrain, H., & Marin-Lamellet, C. (*Under Review*). Non-driving-related task during automated driving : A pilot study to explore variables of task engagement. *In Review Process*.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Vol. 1063). Citeseer.

Kansal, A., Musthag, M., Ganesan, D., Mytkowicz, T., & McKinley, K. S. (2016). *User interruptibility aware notifications* (United States Patent N° US9332411B2). <https://patents.google.com/patent/US9332411B2/en>

Kern, N., & Schiele, B. (2006). Towards personalized mobile interruptibility estimation. *International Symposium on Location-and Context-Awareness*, 134-150.

Kim, I.-H., Kim, J.-W., Haufe, S., & Lee, S.-W. (2015). Detection of braking intention in diverse situations during simulated driving based on EEG feature combination. *Journal of Neural Engineering*, 12(1), 016001. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/12/1/016001>

- Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J. D., & Ramsey, D. J. (2006). *The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data.*
- Ko, S. M., & Ji, Y. G. (2018a). How we can measure the non-driving-task engagement in automated driving : Comparing flow experience and workload. *Applied Ergonomics*, 67, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.10.009>
- Ko, S. M., & Ji, Y. G. (2018b). How we can measure the non-driving-task engagement in automated driving : Comparing flow experience and workload. *Applied Ergonomics*, 67, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.10.009>
- König, M., & Neumayr, L. (2017). Users' resistance towards radical innovations : The case of the self-driving car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 44, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.10.013>
- Large, D. R., Burnett, G., Morris, A., Muthumani, A., & Matthias, R. (2018). A Longitudinal Simulator Study to Explore Drivers' Behaviour During Highly-Automated Driving. In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (p. 583-594). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_57
- Large, D., Shaw, E., & Burnett, G. (2020). *Towards Future Driver Training : Analysing Human Behaviour in Level 3 Automated Cars.* <https://nottingham-repository.worktribe.com/output/3811742/towards-future-driver-training-analysing-human-behaviour-in-level-3-automated-cars>
- Lee. (2014). Dynamics of Driver Distraction : The process of engaging and disengaging. *Annals of Advances in Automotive Medicine. Association for the Advancement of Automotive Medicine. Annual Scientific Conference*, 58, 24-32.
- Lee, B. C., & Duffy, V. G. (2015). The Effects of Task Interruption on Human Performance : A Study of the Systematic Classification of Human Behavior and Interruption

- Frequency: Lee and Duffy Effects of Task Interruption on Human Performance. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(2), 137-152. <https://doi.org/10.1002/hfm.20603>
- Lee, S. C., Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2020a). Effects of Non-Driving-Related Task Attributes on Takeover Quality in Automated Vehicles. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 0(0), 1-9. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1815361>
- Lee, S. C., Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2020b). Effects of Non-Driving-Related Task Attributes on Takeover Quality in Automated Vehicles. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 0(0), 1-9. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1815361>
- Llaneras, R., Salinger, J., & Green, C. (2013). Human Factors Issues Associated with Limited Ability Autonomous Driving Systems : Drivers' Allocation of Visual Attention to the Forward Roadway. *Driving Assessment Conference*, 92-98.
- Louw, T., Kuo, J., Romano, R., Radhakrishnan, V., Lenné, M. G., & Merat, N. (2019). Engaging in NDRTs affects drivers' responses and glance patterns after silent automation failures. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 870-882. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.03.020>
- Lu, S. A., Wickens, C. D., Prinnet, J. C., Hutchins, S. D., Sarter, N., & Sebok, A. (2013). Supporting Interruption Management and Multimodal Interface Design : Three Meta-Analyses of Task Performance as a Function of Interrupting Task Modality. *Human Factors*, 55(4), 697-724. <https://doi.org/10.1177/0018720813476298>
- Lu, Z., Happee, R., Cabrall, C. D. D., Kyriakidis, M., & de Winter, J. C. F. (2016). Human factors of transitions in automated driving : A general framework and literature survey. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 43, 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.10.007>

- Marberger, C., Mielenz, H., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bengler, K., & Wandtner, B. (2018). Understanding and Applying the Concept of “Driver Availability” in Automated Driving. In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Vol. 597, p. 595-605). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_58
- Martens, M. H., & van den Beukel, A. P. (2013). The road to automated driving : Dual mode and human factors considerations. *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, 2262-2267. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728564>
- Matthews, G., Desmond, P. A., Joyner, L., Carcary, B., & Kirby, G. (1997). A COMPREHENSIVE QUESTIONNAIRE MEASURE OF DRIVER STRESS AND AFFECT. *TRAFFIC AND TRANSPORT PSYCHOLOGY. THEORY AND APPLICATION*. <https://trid.trb.org/view/635125>
- Matthews, G., Joyner, L., Gilliland, K., Campbell, S., Falconer, S., & Huggins, J. (1999). Validation of a comprehensive stress state questionnaire : Towards a state big three. *Personality psychology in Europe*, 7, 335-350.
- Matthews, G., Szalma, J., Panganiban, A. R., Neubauer, C., & Warm, J. (2013). Profiling Task Stress with the Dundee Stress State Questionnaire. In *Psychology of Stress : New Research*.
- Matthews, G., Warm, J. S., Reinerman, L. E., Langheim, L. K., & Saxby, D. J. (2010a). Task Engagement, Attention, and Executive Control. In A. Gruszka, G. Matthews, & B. Szymura (Éds.), *Handbook of Individual Differences in Cognition : Attention, Memory, and Executive Control* (p. 205-230). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1210-7_13

- Matthews, G., Warm, J. S., Reinerman, L. E., Langheim, L. K., & Saxby, D. J. (2010b). Task engagement, attention, and executive control. In *Handbook of individual differences in cognition : Attention, memory, and executive control* (p. 205-230). Springer Science + Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1210-7_13
- Melcher, V., Rauh, S., Diederichs, F., Widlroither, H., & Bauer, W. (2015). Take-Over Requests for Automated Driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2867-2873. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.788>
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C. H., & Carsten, O. (2012a). Highly Automated Driving, Secondary Task Performance, and Driver State. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), 762-771. <https://doi.org/10.1177/0018720812442087>
- Merat, N., Jamson, A., Lai, F., & Carsten, O. (2012b). Highly Automated Driving, Secondary Task Performance, and Driver State. *Human factors*, 54, 762-771. <https://doi.org/10.1177/0018720812442087>
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models : What do we know, what should we do? In *Human behavior and traffic safety* (p. 485-524). Springer.
- Miller, D., Sun, A., Johns, M., Ive, H., Sirkin, D., Aich, S., & Ju, W. (2015). Distraction Becomes Engagement in Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59(1), 1676-1680. <https://doi.org/10.1177/1541931215591362>
- Mok, B., Johns, M., Miller, D., & Ju, W. (2017). Tunneled in : Drivers with active secondary tasks need more time to transition from automation. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2840-2844.

- Mok, B. K., Johns, M., Lee, K. J., Ive, H. P., Miller, D., & Ju, W. (2015). Timing of unstructured transitions of control in automated driving. *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1167-1172. <https://doi.org/10.1109/IVS.2015.7225841>
- Mouloua, M., & Hancock, P. A. (2019). *Human Performance in Automated and Autonomous Systems : Current Theory and Methods*. CRC Press.
- Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K., & Neukum, A. (2018a). A Review of Non-driving-related Tasks Used in Studies on Automated Driving. In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (p. 525-537). Springer International Publishing.
- Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K., & Neukum, A. (2018b). A Review of Non-driving-related Tasks Used in Studies on Automated Driving. In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (p. 525-537). Springer International Publishing.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.01.011>
- Neale, V., Klauer, S., Dingus, T., Sudweeks, J., & Goodman, M. (2005). *An Overview of the 100-Car Naturalistic Study and Findings*. 10.
- Neubauer, C., Matthews, G., & Saxby, D. (2012). The Effects of Cell Phone Use and Automation on Driver Performance and Subjective State in Simulated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1987-1991. <https://doi.org/10.1177/1071181312561415>
- Neubauer, C., Matthews, G., & Saxby, D. (2014). Fatigue in the Automated Vehicle : Do Games and Conversation Distract or Energize the Driver? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 2053-2057. <https://doi.org/10.1177/1541931214581432>

- O'Brien, H. L., & Toms, E. G. (2008). What is user engagement? A conceptual framework for defining user engagement with technology. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(6), 938-955. <https://doi.org/10.1002/asi.20801>
- Olson, R. L., Hanowski, R. J., Hickman, J. S., & Bocanegra, J. L. (2009). *Driver Distraction in Commercial Vehicle Operations*. <https://trid.trb.org/view/907078>
- Parasuraman, R., & Davies, D. R. (1977). A Taxonomic Analysis of Vigilance Performance. In R. R. Mackie (Éd.), *Vigilance : Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates* (p. 559-574). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2529-1_26
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation : Use, misuse, disuse, abuse. *Human factors*, 39(2), 230-253.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286-297. <https://doi.org/10.1109/3468.844354>
- Park, J., Jung, E. S., & Im, Y. (2019a). 2H1-6 The Effect of Driver Engagement in Autonomous Driving based on Flow Experience. *The Japanese Journal of Ergonomics*, 55(Supplement), 2H1-6-2H1-6. <https://doi.org/10.5100/jje.55.2H1-6>
- Park, J., Jung, E. S., & Im, Y. (2019b). 2H1-6 The Effect of Driver Engagement in Autonomous Driving based on Flow Experience. *The Japanese Journal of Ergonomics*, 55(Supplement), 2H1-6-2H1-6. <https://doi.org/10.5100/jje.55.2H1-6>
- Parnell, K. J., Stanton, N. A., & Plant, K. L. (2017). What does current research tell us about why drivers engage with technological distractions : A Review. *5th International Conference on Driver Distraction and Inattention, Paris*.
- Pashler, H., Johnston, J. C., & Ruthruff, E. (2001). Attention and Performance. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 629-651. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.629>

- Pauzié, A. (2008). A method to assess the driver mental workload : The driving activity load index (DALI). *IET Intelligent Transport Systems*, 2(4), 315-322. <https://doi.org/10.1049/iet-its:20080023>
- Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2014). Mental workload and driving. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01344>
- Pfleging, B., Rang, M., & Broy, N. (2016). Investigating User Needs for Non-driving-related Activities During Automated Driving. *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, 91-99. <https://doi.org/10.1145/3012709.3012735>
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T., & Mckeachie, W. J. (1993). Reliability and Predictive Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (Mslq). *Educational and Psychological Measurement*, 53(3), 801-813. <https://doi.org/10.1177/0013164493053003024>
- Pohl, H., & Murray-Smith, R. (2013). Focused and casual interactions : Allowing users to vary their level of engagement. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 2223-2232). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2470654.2481307>
- Radlmayr, J., & Bengler, K. (2015). *Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2222.4401>
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3), 257-266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Regan, M., Victor, T., & Lee, J. (2013a). *Driver distraction and inattention*. SAE.

- Regan, M., Victor, T., & Lee, J. (2013b). Driver Distraction and Inattention. In *Driver Distraction and Inattention : Advances in Research and Countermeasures, Volume 1* (p. i-xxiii). SAE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8505197>
- Reid, G. B., & Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technique : A scaling procedure for measuring mental workload. In *Advances in psychology* (Vol. 52, p. 185-218). Elsevier.
- Richards, D., & Stedmon, A. (2016). To delegate or not to delegate : A review of control frameworks for autonomous cars. *Applied Ergonomics*, 53, 383-388. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.10.011>
- Roche, F., Somieski, A., & Brandenburg, S. (2019a). Behavioral Changes to Repeated Takeovers in Highly Automated Driving : Effects of the Takeover-Request Design and the Nondriving-Related Task Modality. *Human Factors*, 61(5), 839-849. <https://doi.org/10.1177/0018720818814963>
- Roche, F., Somieski, A., & Brandenburg, S. (2019b). Behavioral Changes to Repeated Takeovers in Highly Automated Driving : Effects of the Takeover-Request Design and the Nondriving-Related Task Modality. *Human Factors*, 61(5), 839-849. <https://doi.org/10.1177/0018720818814963>
- Rubio, S., Díaz, E., Martín, J., & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload : A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology*, 53(1), 61-86. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x>
- SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee. (2014). Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. *SAE Standard J, 3016*, 1-16.
- Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2008a). Threaded cognition : An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological review*, 115(1), 101.

- Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2008b). Threaded cognition : An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, *115*(1), 101-130. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.1.101>
- Salvucci, D. D., Taatgen, N. A., & Borst, J. P. (2009). *Toward a Unified Theory of the Multitasking Continuum : From Concurrent Performance to Task Switching, Interruption, and Resumption*. 10.
- Saxby, D. J., Matthews, G., Warm, J. S., Hitchcock, E. M., & Neubauer, C. (2013). Active and passive fatigue in simulated driving : Discriminating styles of workload regulation and their safety impacts. *Journal of experimental psychology: applied*, *19*(4), 287.
- Shagass, C., Roemer, R. A., & Amadeo, M. (1976). Eye-Tracking Performance and Engagement of Attention. *Archives of General Psychiatry*, *33*(1), 121-125. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1976.01770010077015>
- Shahid, A., Wilkinson, K., Marcu, S., & Shapiro, C. M. (2012). Karolinska Sleepiness Scale (KSS). In A. Shahid, K. Wilkinson, S. Marcu, & C. M. Shapiro (Éds.), *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales* (p. 209-210). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9893-4_47
- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. MIT press.
- Shinar, D., Tractinsky, N., & Compton, R. (2005). Effects of practice, age, and task demands, on interference from a phone task while driving. *Accident; analysis and prevention*, *37*, 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.09.007>
- Solovey, E. T., Zec, M., Garcia Perez, E. A., Reimer, B., & Mehler, B. (2014). Classifying driver workload using physiological and driving performance data : Two field studies. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 4057-4066. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557068>

- Spiessl, W., & Hussmann, H. (2011). Assessing error recognition in automated driving. *IET Intelligent Transport Systems*, 5(2), 103-111. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2010.0102>
- Stanton, N. A., & Young, M. S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics*, 41(7), 1014-1028. <https://doi.org/10.1080/001401398186568>
- STANTON, N. A., & YOUNG, M. S. (1998). Vehicle automation and driving performance. *Ergonomics*, 41(7), 1014-1028. <https://doi.org/10.1080/001401398186568>
- Stanton, N., & Young, M. (2003). Giving ergonomics away? The application of ergonomics methods by novices. *Applied ergonomics*, 34, 479-490. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(03\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(03)00067-X)
- Strand, N. (2014). When driving automation fails : Drivers' experiences and interactions. *Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie*, 3715. <https://trid.trb.org/view/1367603>
- Strauch, B. (2017). Ironies of automation : Still unresolved after all these years. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48(5), 419-433.
- Tanshi, F., & Söffker, D. (2019a). Modeling of takeover variables with respect to driver situation awareness and workload for intelligent driver assistance. *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1667-1672. <https://doi.org/10.1109/IVS.2019.8814045>
- Tanshi, F., & Söffker, D. (2019b). Modeling of takeover variables with respect to driver situation awareness and workload for intelligent driver assistance. *2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1667-1672. <https://doi.org/10.1109/IVS.2019.8814045>
- Taylor, R. M. (1990). *SITUATIONAL AWARENESS RATING TECHNIQUE (SART) : THE DEVELOPMENT OF A TOOL FOR AIRCREW SYSTEMS DESIGN.*
- Tops, M., & Boksem, M. A. S. (2010). Absorbed in the task : Personality measures predict engagement during task performance as tracked by error negativity and asymmetrical

- frontal activity. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 10(4), 441-453.
<https://doi.org/10.3758/CABN.10.4.441>
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., & Hume, R. D. (1979). *TRI-LEVEL STUDY OF THE CAUSES OF TRAFFIC ACCIDENTS. EXECUTIVE SUMMARY* (DOTHS034353579TAC(5)Final Rpt). Article DOTHS034353579TAC(5)Final Rpt.
<https://trid.trb.org/view/144095>
- Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological review*, 76(3), 282.
- Tsang, P. S., & Velasquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, 39(3), 358-381.
<https://doi.org/10.1080/00140139608964470>
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978a). Mental Rotations, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604.
<https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978b). Mental Rotations, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604.
<https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Walch, M., Lange, K., Baumann, M., & Weber, M. (2015). Autonomous Driving : Investigating the Feasibility of Car-driver Handover Assistance. *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 11-18. <https://doi.org/10.1145/2799250.2799268>
- Walch, M., Mühl, K., Kraus, J., Stoll, T., Baumann, M., & Weber, M. (2017). From Car-Driver-Handovers to Cooperative Interfaces : Visions for Driver-Vehicle Interaction in Automated Driving. In G. Meixner & C. Müller (Éds.), *Automotive User Interfaces :*

Creating Interactive Experiences in the Car (p. 273-294). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49448-7_10

Wandtner, B., Schmidt, G., Schoemig, N., & Kunde, W. (2018a). Non-driving related tasks in highly automated driving—Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance. *AmE 2018 - Automotive meets Electronics; 9th GMM-Symposium*, 1-6.

Wandtner, B., Schmidt, G., Schoemig, N., & Kunde, W. (2018b). Non-driving related tasks in highly automated driving—Effects of task modalities and cognitive workload on take-over performance. *AmE 2018 - Automotive meets Electronics; 9th GMM-Symposium*, 1-6.

Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018a). Effects of Non-Driving Related Task Modalities on Takeover Performance in Highly Automated Driving: *Human Factors*. <https://doi.org/10.1177/0018720818768199>

Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018b). Effects of Non-Driving Related Task Modalities on Takeover Performance in Highly Automated Driving. *Human Factors*, 60(6), 870-881. <https://doi.org/10.1177/0018720818768199>

Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018c). Secondary task engagement and disengagement in the context of highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.001>

Wandtner, B., Schömig, N., & Schmidt, G. (2018d). Secondary task engagement and disengagement in the context of highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.001>

- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human factors*, 50(3), 433-441.
- Weaver, B. W., & DeLucia, P. R. (2020). A Systematic Review and Meta-Analysis of Takeover Performance During Conditionally Automated Driving. *Human Factors*, 0018720820976476. <https://doi.org/10.1177/0018720820976476>
- Welford, A. T. (1952). The 'psychological refractory period' and the timing of high-speed performance—A review and a theory. *British Journal of Psychology. General Section*, 43(1), 2-19.
- Wester, A. E., Böcker, K., Volkerts, E., Verster, J. C., & Kenemans, J. L. (2008). Event-related potentials and secondary task. Performance during simulated driving. *Accident; analysis and prevention*, 40, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.014>
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. *Varieties of Attention*.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), 159-177.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>
- Wiener, E. L., Curry, R. E., & Faustina, M. L. (1984). Vigilance and task load : In search of the inverted U. *Human factors*, 26(2), 215-222.
- Wiener, E. L., & Nagel, D. C. (1988). *Human factors in aviation*. Gulf Professional Publishing.
- Wu, Y., Kihara, K., Hasegawa, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M., & Kitazaki, S. (2020). Age-related differences in effects of non-driving related tasks on takeover performance in automated driving. *Journal of Safety Research*, 72, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.019>
- Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2019a). Non-driving-related tasks, workload, and takeover performance in highly automated driving contexts. *Transportation Research Part F*:

- Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 620-631.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.11.015>
- Yoon, S. H., & Ji, Y. G. (2019b). Non-driving-related tasks, workload, and takeover performance in highly automated driving contexts. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 620-631.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.11.015>
- Young, M. (2010). Human Factors of Visual and Cognitive Performance in Driving. *Ergonomics*, 53, 444-445. <https://doi.org/10.1080/00140130903494785>
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002a). Attention and automation : New perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 178-194. <https://doi.org/10.1080/14639220210123789>
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002b). Malleable Attentional Resources Theory : A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance. *Human Factors*, 44(3), 365-375. <https://doi.org/10.1518/0018720024497709>
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002c). Malleable Attentional Resources Theory : A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance. *Human Factors*, 44(3), 365-375. <https://doi.org/10.1518/0018720024497709>
- Young, M. S., Stanton, N. A., & Harris, D. (2007). Driving automation : Learning from aviation about design philosophies. *International Journal of Vehicle Design*, 45(3), 323-338.
<https://doi.org/10.1504/IJVD.2007.014908>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.023>
- 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.

<https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.002>

Zeeb, K., Härtel, M., Buchner, A., & Schrauf, M. (2017). Why is steering not the same as braking? The impact of non-driving related tasks on lateral and longitudinal driver interventions during conditionally automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 50, 65-79. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.07.008>

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019a). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285-307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020>

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019b). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285-307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020>

VIII. Annexe : Version française du Dundee Stress State

Questionnaire

Ce questionnaire s'intéresse à vos émotions et pensées en ce moment. Nous souhaiterions élaborer une image précise de votre état d'esprit actuel, et pour ce faire il y a un certain nombre de questions, regroupées en quatre catégories. Veuillez répondre à chaque question, même si vous la trouvez difficile.

Répondez aussi honnêtement que possible, ce qui est vrai pour vous. S'il-vous-plaît, ne choisissez pas une réponse parce qu'elle vous semble être "ce qu'il faut répondre". Vos réponses sont entièrement confidentielles. Assurez-vous aussi de ne répondre qu'en fonction de ce que vous ressentiez sur le moment. Ne parlez pas juste de votre état d'esprit habituel. Vous devriez essayer de répondre assez vite: il n'y a pas besoin de beaucoup réfléchir aux réponses. La première réponse à laquelle vous pensez est généralement la meilleure.

1. VOTRE HUMEUR

Tout d'abord, voici une liste de mots qui décrivent les humeurs et les sentiments des gens. Veuillez dire à quel point chaque mot décrit ce que vous pensez EN CE MOMENT. Pour chaque mot, entourez la réponse entre 1 et 4 qui décrit le mieux votre humeur

	<i>Tout à fait</i>	<i>Plutôt</i>	<i>Pas vraiment</i>	<i>Pas du tout</i>
<i>1. Heureux</i>	1	2	3	4
<i>2. Mécontent</i>	1	2	3	4
<i>3. Énergique</i>	1	2	3	4
<i>4. Détendu</i>	1	2	3	4
<i>5. Vigilant</i>	1	2	3	4
<i>6. Nerveux</i>	1	2	3	4
<i>7. Passif</i>	1	2	3	4
<i>8. Jovial</i>	1	2	3	4
<i>9. Tendu</i>	1	2	3	4

10. Agité	1	2	3	4
11. Lent	1	2	3	4
12. Navré	1	2	3	4
13. Posé	1	2	3	4
14. Déprimé	1	2	3	4
15. Reposé	1	2	3	4
16. déterminé	1	2	3	4
17. Anxieux	1	2	3	4
18. Satisfait	1	2	3	4
19. Sans ambition	1	2	3	4
20. Triste	1	2	3	4
21. Calme	1	2	3	4
22. Actif	1	2	3	4
23. Épanoui	1	2	3	4
24. Fatigué	1	2	3	4
25. Impatient	1	2	3	4
26. Enervé	1	2	3	4
27. En colère	1	2	3	4
28. Irrité	1	2	3	4
29. Grognon	1	2	3	4

2. MOTIVATION

Veillez répondre à ces quelques questions sur votre attitude quant à la tâche que vous êtes sur le point de faire. Cotez à quel point vous êtes d'accord avec les propositions suivantes en entourant à chaque fois une des réponses suivantes:

Extrêmement = 4 Beaucoup = 3 Assez = 2 Un peu = 1 Pas du tout = 0

1.	<i>Je m'attends à ce que le contenu de la tâche soit intéressant</i>	0	1	2	3	4
2.	<i>La seule raison de faire cette tâche est d'obtenir une récompense extérieure (ex: des points pour l'examen, de l'argent, une rétribution ...)</i>	0	1	2	3	4
3.	<i>Je préférerais utiliser le temps passé à cette tâche à faire autre chose</i>	0	1	2	3	4
4.	<i>Je m'inquiète de ne pas réussir à faire aussi bien que je peux</i>	0	1	2	3	4
5.	<i>Je veux réussir mieux que la plupart des gens</i>	0	1	2	3	4
6.	<i>Je vais en avoir assez de cette tâche</i>	0	1	2	3	4
7.	<i>J'ai envie de faire bien</i>	0	1	2	3	4
8.	<i>Je serai déçu si je n'arrive pas à bien faire cette tâche</i>	0	1	2	3	4
9.	<i>Je m'engage à atteindre mes objectifs de performance.</i>	0	1	2	3	4
10.	<i>Réaliser cette tâche vaut le coût</i>	0	1	2	3	4
11.	<i>Je m'attends à trouver la tâche ennuyeuse</i>	0	1	2	3	4
12.	<i>Je suis indifférent à ma réussite</i>	0	1	2	3	4
13.	<i>Je veux réussir cette tâche</i>	0	1	2	3	4
14.	<i>La tâche va faire ressortir mes envies de compétition</i>	0	1	2	3	4
15.	<i>Je suis motivé pour faire cette tâche</i>	0	1	2	3	4

3. STYLE DE PENSÉE

Dans cette partie, nous nous intéressons à vos pensées sur vous-même: comment votre esprit fonctionne, à quel point vous vous sentez confiant, et à quel point vous pensez réussir cette tâche. Vous trouverez ci-dessous quelques

propositions qui pourraient décrire votre style de pensée en ce moment même. Lisez chacun d'entre eux avec attention, et indiquez à quel point chacune de ces propositions est vraie à propos de vos pensées à l'instant présent.

Pour répondre, entourez à chaque fois une des réponses suivantes:

Extrêmement = 4 Beaucoup = 3 Assez = 2 Un peu = 1 Pas du tout = 0

1.	<i>J'essaye de me comprendre</i>	0	1	2	3	4
2.	<i>Je suis très au courant de moi-même</i>	0	1	2	3	4
3.	<i>Je réfléchis à propos de moi</i>	0	1	2	3	4
4.	<i>Je rêve à propos de moi</i>	0	1	2	3	4
5.	<i>Je pense intensément à moi-même</i>	0	1	2	3	4
6.	<i>Je prête attention à mes sentiments internes</i>	0	1	2	3	4
7.	<i>J'examine mes motivations</i>	0	1	2	3	4
8.	<i>Je sens que je suis ailleurs en train de m'observer moi même</i>	0	1	2	3	4
9.	<i>J'ai confiance en mes capacités</i>	0	1	2	3	4
10.	<i>Je m'inquiète de savoir si je suis vu comme quelqu'un qui a réussi ou comme quelqu'un qui a échoué</i>	0	1	2	3	4
11.	<i>Je me sens conscient de moi-même</i>	0	1	2	3	4
12.	<i>Je me sens aussi intelligent que les autres</i>	0	1	2	3	4
13.	<i>Je m'inquiète de ce que les autres pensent de moi</i>	0	1	2	3	4
14.	<i>J'ai confiance dans ma compréhension des choses</i>	0	1	2	3	4
15.	<i>Je me sens inférieur aux autres en ce moment</i>	0	1	2	3	4
16.	<i>Je suis préoccupé par l'impression que je donne</i>	0	1	2	3	4
17.	<i>En ce moment précis, je me sens que j'ai moins de capacités scolaires que les autres</i>	0	1	2	3	4
18.	<i>Je suis inquiet d'avoir l'air bête</i>	0	1	2	3	4
19.	<i>Mon attention se pose sur d'autres choses que la tâche</i>	0	1	2	3	4
20.	<i>Certaines sensations physiques, comme des tensions musculaires, me distraient</i>	0	1	2	3	4
21.	<i>Je m'attends à ce que ma performance soit moins bonne à cause de pensées qui n'ont rien à voir avec la tâche.</i>	0	1	2	3	4
22.	<i>J'ai trop de choses auxquelles penser pour être capable de me concentrer sur la tâche.</i>	0	1	2	3	4
23.	<i>Mes pensées sont généralement claires et précises</i>	0	1	2	3	4
24.	<i>Je trouverai cela difficile de rester concentré plus longtemps qu'un temps très court</i>	0	1	2	3	4

25.	<i>Mon esprit divague beaucoup</i>	0	1	2	3	4
26.	<i>Mes pensées sont confuses et difficiles à contrôler</i>	0	1	2	3	4
27.	<i>Je m'attend à être efficace dans cette tâche</i>	0	1	2	3	4
28.	<i>Généralement, je me sens que je contrôle bien les choses</i>	0	1	2	3	4
29.	<i>Je peux affronter n'importe quelle difficulté que je rencontre</i>	0	1	2	3	4
30.	<i>Je me sens doué dans cette tâche</i>	0	1	2	3	4

4. LE CONTENU DE VOS PENSEES

Ce groupe de questions s'intéresse aux types de pensées qui passent par la tête des gens à certains moments, comme par exemple lorsqu'ils sont en train de faire une certaine tâche ou activité. Ci-dessous une liste de pensées que vous pourriez avoir eu récemment. Indiquez s'il-vous-plaît, à quelle fréquence, à peu près, vous avez eu chacune de ces pensées dans les 10 dernières minutes, en entourant un nombre dans la liste suivante.

1= Jamais 2= Une fois 3= Quelques fois 4= Souvent 5= Très souvent

1.	<i>J'ai pensé à comment je devrais travailler plus soigneusement</i>	1	2	3	4	5
2.	<i>J'ai pensé à combien de temps j'avais encore</i>	1	2	3	4	5
3.	<i>J'ai pensé à comment les autres ont réalisé cette tâche</i>	1	2	3	4	5
4.	<i>J'ai pensé à la difficulté des problèmes</i>	1	2	3	4	5
5.	<i>J'ai pensé à mon niveau de compétence</i>	1	2	3	4	5
6.	<i>J'ai pensé au but de l'expérience</i>	1	2	3	4	5
7.	<i>J'ai pensé à comment je me sentirai si on me disait à quel point j'ai réussi</i>	1	2	3	4	5
8.	<i>J'ai pensé à combien de fois je me suis senti confus</i>	1	2	3	4	5
9.	<i>J'ai pensé à des membres de ma famille</i>	1	2	3	4	5
10.	<i>J'ai pensé à quelque chose qui m'a fait me sentir coupable</i>	1	2	3	4	5
11.	<i>J'ai pensé à des soucis personnels</i>	1	2	3	4	5
12.	<i>J'ai pensé à quelque chose qui m'a fait me sentir en colère</i>	1	2	3	4	5
13.	<i>J'ai pensé à quelque chose qui est arrivé plus tôt aujourd'hui</i>	1	2	3	4	5
14.	<i>J'ai pensé à quelque chose qui est arrivé récemment (ces derniers jours, mais pas aujourd'hui)</i>	1	2	3	4	5
15.	<i>J'ai pensé à quelque chose qui est arrivé il y a longtemps</i>	1	2	3	4	5

16. <i>J'ai pensé à quelque chose qui pourrait arriver dans le futur</i>	1	2	3	4	5
--	---	---	---	---	---